

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Viktor Mandić

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Mladen Crneković

Student:

Viktor Mandić

Zagreb, 2013.

IZJAVA

Pod punom moralnom odgovornošću izjavljujem da sam rad radio samostalno koristeći se znanjem stečenim tijekom studija te navedenom literaturom.

ZAHVALA

Najsrdanije se zahvaljujem voditelju rada prof. dr. sc. Mladenu Crnekoviću na pružanju korisnih savjeta te stručne pomoći pri izradi ovog rada.

Zahvaljujem se stručnom suradniku Zvonku Grgecu na mnoštvu savjeta te pomoći u praktičnoj izvedbi.

Zahvaljujem se kolegi Domagoju Majstoroviću na izradi web stranice putem koje se pregledavaju, obrađuju i analiziraju izmjereni podaci.

Zahvaljujem se poduzeću Corda projekt d.o.o. na donaciji potrebnih dijelova za izradu prototipa.

Zahvaljujem se poduzeću Extop d.o.o. na pružanju tehničkih savjeta i radnih strojeva pri izradi prototipa.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **VIKTOR MANDIĆ**

Mat. br.:0035172910

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **AUTOMATSKA METEOROLOŠKA MJERNA POSTAJA**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **AUTOMATIC METEOROLOGICAL MEASURING STATION**

Opis zadatka:

Za pouzdanu prognozu vremenskih uvjeta na nekom području potrebni su dobri matematički modeli i velika količina izmjerenih podataka o stvarnim vremenskim uvjetima kojima se modeli hrane. Da bi izmjereni podaci bili od koristi vrijeme od njihovog uzimanja pa do ulaza u model mora biti što kraće. Zbog brojnosti podataka, nedostupnosti mjesta mjerenja i potrebne brzine, prikupljanje informacija o stanju vremena treba automatizirati.

To se postiže gradnjom automatskih meteoroloških mjernih postaja s autonomnim napajanjem i GSM komunikacijom prema centralnom računalu za prikupljanje informacija.

U radu je potrebno:

- odabrati osjetnike za temperaturu, tlak, relativnu vlažnost, brzinu i smjer vjetra, količinu padalina i detekciju pada tuče,
- odabrati mikrokontroler koji će upravljati mjernom postajom i preko GSM modema slati izmjerene informacije centralnom računalu,
- projektirati sustav autonomnog napajanja pomoću solarnih ćelija,
- definirati protokol i program za prikupljanje i prikaz rezultata mjerenja na centralnom računalu,
- procijeniti ukupni trošak investicije za izradu 10 mjernih postaja.

Zadatak zadan:

19. rujna 2013.

Rok predaje rada:

21. studenog 2013.

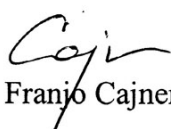
Predviđeni datum obrane:

27., 28. i 29. studenog 2013.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Mladen Crneković

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Franjo Cajner

Sadržaj

Sadržaj	III
Popis slika	V
Popis tablica	VI
Popis oznaka	VII
Sažetak	VIII
Summary	IX
1 Uvod	1
1.1 Povijest meteorologije [1]	1
1.2 Primjena meteoroloških podataka	2
1.3 Postupak mjerenja atmosferskih stanja	3
2 Općenito o meteorološkim postajama	4
2.1 Podjela meteoroloških postaja [7]	4
2.1.1 Glavna meteorološka postaja	4
2.1.2 Obična meteorološka postaja	5
2.1.3 Kišomjerna meteorološka postaja	5
2.2 Postavljanje meteorološke postaje [7]	5
2.3 Mjerne veličine	7
2.3.1 Temperatura	7
2.3.2 Vlaga	8
2.3.3 Tlak	8
2.3.4 Količina padalina	9
2.3.5 Brzina i smjer vjetra	9
2.3.6 Sunčevo zračenje	11
3 Projektiranje meteorološke postaje	12
3.1 Senzori	13
3.1.1 Senzor temperature i relativne vlažnosti	13

3.1.2	Senzor tlaka	15
3.1.3	Senzor brzine vjetra	19
3.1.4	Senzor smjera vjetra	20
3.1.5	Senzor količine padalina	21
3.1.6	Senzor intenziteta tuče	22
3.1.7	Senzor globalnog položaja - GPS	23
3.2	Mikrokontroler	25
3.2.1	Mikrokontroler Atmega328P	25
3.2.2	Programiranje mikrokontrolera	26
3.3	GSM modul	26
3.4	Solarno napajanje	27
3.4.1	Solarni panel	27
3.4.2	Akumulator	28
3.4.3	Regulator punjenja akumulatora	29
4	Izrada meteorološke postaje	30
4.1	Elektroničko sklopovlje	30
4.1.1	Projektiranje sheme	30
4.1.2	Projektiranje tiskane pločice	34
4.1.3	Izrada tiskane pločice	35
4.2	Mehanička konstrukcija	38
4.2.1	Postolje	38
4.2.2	Kućište senzora temperature	39
4.3	Ugradnja komponenti	41
4.4	Cijena	43
5	Komunikacija sa centralnim računalom	44
5.1	Protokol GSM modula	44
5.2	Program na centralnom računalu	45
5.3	Korisničko sučelje	47
6	Zaključak	49
	Literatura	50
	A Elektronička shema	51
	B Predložak za izradu tiskane pločice	53
	C Program u mikrokontroleru	54

Popis slika

2.1	Motrište glavne meteorološke postaje	6
2.2	Ruža vjetrova	9
3.1	Shema sustava meteorološke postaje	12
3.2	Senzor temperature i relativne vlažnosti SHT15	13
3.3	Shema spajanja senzora SHT15 [10]	14
3.4	Protokol komunikacije senzora SHT15 [10]	14
3.5	Senzor tlaka BMP085	16
3.6	Shema spajanja senzora BMP085 [6]	16
3.7	Protokol komunikacije senzora BMP085 [6]	17
3.8	Dijagram promjene tlaka s nadmorskom visinom [6]	17
3.9	Primjer proračuna tlaka [6]	18
3.10	Anemometar	19
3.11	Senzor smjera vjetra	20
3.12	Shema spajanja senzora za smjer vjetra	20
3.13	Senzor količine padalina	22
3.14	Senzor intenziteta tuče LIS302	23
3.15	Protokol komunikacije LIS302	23
3.16	GPS modul LEA6	23
3.17	Raspored nožica mikrokontrolera Atmega328P	25
3.18	Programiranje mikrokontrolera	26
3.19	GSM modul Telit GL865	27
3.20	Solarni panel od 15 W	28
3.21	Akumulator 12V 7,2 Ah	28
4.1	Spajanje stabilizatora napona LP2985	30
4.2	Spajanje stabilizatora napona LM2575T-ADJ	31
4.3	Spajanje stabilizatora napona LM2575T-3.3	31
4.4	Spajanje mikrokontrolera s periferijom	32
4.5	Shema regulatora punjenja akumulatora	33
4.6	Izgled pločice sa gornje strane	34
4.7	Izgled pločice sa donje strane	34
4.8	Osvjetljavanje tiskane pločice	36

4.9	Razvijanje pločice	36
4.10	Jetkanje pločice	37
4.11	Bušenje pločice	37
4.12	Prikaz pravilnog i nepravilnog načina lemljenja [8]	38
4.13	<i>SolidWorks</i> model meteorološke stanice	39
4.14	Kućiste senzora temperature	40
4.15	Alat za termoformiranje	40
4.16	Elektronička kutija meteorološke postaje	41
4.17	Instalirana automatska meteorološka postaja	42
5.1	Glavni izbornik korisničkog sučelja [9]	47
5.2	Izbornik sa trenutnim podacima odabrane meteorološke postaje [9]	47
5.3	Grafički prikaz podataka [9]	48
5.4	Tablični prikaz podataka [9]	48

Popis tablica

2.1	Smjerovi vjetra [7]	10
2.2	Beaufortova ljestvica za procjenu jačine vjetra [7]	11
3.1	Parametri za izračun točke rosišta	15
3.2	Izlazni podaci sa senzora za mjerenje smjera vjetra	21
3.3	Protokol komunikacije GPS modula LEA6 [11]	24
4.1	Cijena komponenata za izradu jedne meteorološke postaje	43
5.1	Baza podataka	46

Popis oznaka

Oznaka	Opis	Jedinica
T	Temperatura zraka,	°C
T_d	Temperatura rosišta,	°C
SO_T	Vrijednost temperature dobivena A/D pretvorbom,	LSB
RH_{linear}	Vrijednost relativne vlažnosti bez kompenzacije,	%
SO_{RH}	Vrijednost relativne vlage dobivena A/D pretvorbom,	LSB
RH_{true}	Vrijednost kompenzirane relativne vlažnosti zraka,	%
p_0	Tlak na srednjoj razini mora,	Pa
v	Nadmorska visina meteorološke postaje,	m
p	Tlak na razini meteorološke postaje,	Pa
d_1	Kalibracijska konstanta za izračun temperature,	-
d_2	Kalibracijska konstanta za izračun temperature,	-
t_1	Kalibracijska konstanta za izračun relativne vlage,	-
t_2	Kalibracijska konstanta za izračun relativne vlage,	-
c_1	Kalibracijska konstanta za izračun relativne vlage,	-
c_2	Kalibracijska konstanta za izračun relativne vlage,	-
T_n	Kalibracijska konstanta za izračun temperature rosišta,	-
m	Kalibracijska konstanta za izračun temperature rosišta,	-

Sažetak

Meteorološka mjerna postaja mjeri atmosferske uvjete. Dobiveni podaci omogućuju predviđanje vremenske prognoze što je od osobitog značaja za uzgajivače poljoprivrednih kultura zbog planiranja proizvodnje i uzgoja te za analize utjecaja na okoliš različitih objekata kao što su tvornice, elektrane i sl. U radu je prikazan cijeli proces izrade automatske meteorološke postaje. Odabrani su senzori, mikrokontroler koji će upravljati cijelom postajom te GSM komunikacijski modul. Prikazana je izrada prototipa automatske meteorološke postaje te prikaz i obrada podataka putem interneta.

Ključne riječi: meteorologija, mikrokontroler, senzor, tiskana pločica, solarno napajanje

Summary

A weather station observe atmospheric conditions. The measurements taken provide information for weather forecasts which is very important for those who work in agriculture as well as for environmental impact analysis. This paper presents the whole process of creating automatic weather station. There are chosen sensors, microcontroller which will manage the entire station, and GSM communication module. Also, it is shown how to constructe prototypes of automatic weather station and how to recorde and process data over the Internet.

Keywords: meteorology, microcontroller, sensor, printed circuit board, solar power

Poglavlje 1

Uvod

1.1 Povijest meteorologije [1]

Riječ meteorologija potječe od grčke riječi *meteoron* koja se odnosila na sve pojave na nebu. Zanimanje čovjeka za vrijeme koje ga okružuje postojalo je otkad i sam čovjek. Već u staroj Kini, Indiji, Egiptu i Grčkoj su ljudi raspravljali o vjetrovima i oborinama te pokušavali shvatiti i objasniti te vremenske pojave. Prva knjiga s opisom i tumačenjem vremenskih pojava je Aristotelova *Meteorologica* (340. g. prije Krista), a obuhvaćala je sve pojave iznad tla. Idućih stoljeća, skoro cijelo tisućljeće, meteorologija se nije uopće ili se vrlo slabo razvijala. Iz tog vremena postoje rijetki zapisi (anali), uglavnom crkveni, o vremenskim pojavama i posebno nepogodama.

Počeci meteorologije leže u promatranju trenutnog vremena i nagađanja kakvo bi ono moglo biti u vrlo bliskoj budućnosti. Aristotelov nauk i njegova *Meteorologica* bili su u antici i srednjem vijeku vrlo cijenjeni i zapravo jedini znanstveni meteorološki počeci. Najosnovniji instrumenti za provođenje tih promatranja i mjerenja, barometar, higrometar i termometar, izumljeni su u razdoblju između 1650. i 1750. godine. Spajanje teorije i eksperimenta uključivalo je i Newtonove zakone gibanja, pokuse Blaisa Pascala, Edmea Marriottea, Roberta Hookea, Edmunda Halleya i ostalih na hipsometriji¹. Tijekom sljedećeg stoljeća (1750. - 1850.) standardizirani su termometri, Benjamin Franklin proučavao je munje i izumio gromobran, John Dalton postavio je temelje za mjerenje isparavanja i vlažnosti, a Luke Howard je klasificirao oblake. Nakon 1800. godine javne ustanove, ali i fizičke osobe počele su skupljati i pratiti vremenske prilike.

Nakon što je u Krimskom ratu (1853. - 1856.) francuska flota bila teško oštećena u snažnoj oluji, zemlje zapadne Europe i Sjeverne Amerike započele su ozbiljne pokušaje sakupljanja podataka o vremenu na mnogo mjesta istovremeno pomoću izumljenog telegrafa (1837.). Razvoj pouzdanih satova omogućio je stalnost i točnost promatranja na širem području. Izumljeni su i anemometri, a uskoro je za održanje i očitavanje uređaja uvedena i električna struja.

Termodinamika, koja se počela razvijati sredinom 19. stoljeća, omogućila je velik broj

¹hipsometrija - znanost koja se bavi preciznim mjerenjem nadmorske visine

novih formula koje opisuju atmosferu i promjene u njoj. Oko 1920. empirijska iskustva prepuštaju mjesto fizici, a znanstvenici Vilhelm Bjerkness i njegov sin Jacob sve te ideje oblikovali su u teoriju o polarnoj fronti, uključujući ključne pojmove fronte i zračnih masa.

Moderna dinamička meteorologija rođena je 1948. godine, kad je Jule Charney uspio reducirati složene dinamičke jednadžbe (koje je već 1904. godine postavio Vilhelm Bjerkness) na jednostavniji, ali koristan oblik. Istovremeni razvoj digitalnog računala osigurao je da Charneyeva metoda rješavanja jednadžbi ima veliku praktičnu korisnost jer se omogućilo da prognožiranje vremena bude bazirano na rješenjima dinamičkih jednadžbi kao funkcija vremena.

S razvitkom meteorologije otvorila se i mogućnost njenog iskorištavanja u svakodnevnom životu za potrebe čovjeka. To je potaknulo organizaciju i nastanak prvih meteoroloških službi, ali i razvilo spoznaju o velikoj važnosti međunarodne suradnje. Ljudi su brzo shvatili da vrijeme i meteorološka zbivanja ne poznaju državne granice i da prelaze granice kontinenata. Međunarodna povezanost u meteorologiji utemeljena je na 1. međunarodnom kongresu meteorologa u Beču 1873. godine, gdje je osnovana Međunarodna meteorološka organizacija (International Meteorological Organization – IMO). Ta organizacija je 1951. godine prerasla u Svjetsku meteorološku organizaciju (World Meteorological Organization – WMO), posebnu agenciju Ujedinjenih naroda.

1.2 Primjena meteoroloških podataka

Određen broj meteoroloških podataka širi se svijetom putem Globalnog telekomunikacijskog sustava Svjetske meteorološke organizacije (WMO), ali dobar dio se ne šalje u javnost zbog komercijalnog interesa, nacionalne sigurnosti i logistike nekih zemalja. Iz tog razloga diljem svijeta postoji nekoliko središta koja pomoću brzih i moćnih računala i računalnih modela izvide simulacije vremena u budućnosti temeljene na dosadašnjim opažanjima. Jedno od tih središta je i Europski centar za prognozu vremena (ECMWF) u Readingu u Engleskoj. Računalna tehnologija uspješno se i uvelike koristi, uključujući numeričke modele, interaktivnu analizu podataka i njihovo potpuno razumijevanje.[1]

Podaci o meteorološkim uvjetima osobito su značajni za uzgajivače poljoprivrednih kultura koji su nužni zbog planiranja proizvodnje i uzgoja. Točnim i pravovremenim saznanjem o stanju u atmosferi postiže se pravilan odabir sjemena, količina i vrijeme navodnjavanja, predviđa se pojava bolesti i štetočina u voćnjacima, vinogradima, određuju se zaštitna sredstva, planira se vrijeme sadnje, berbe, žetve, što u konačnici daje bolje i kvalitetnije prinose poljoprivredne kulture. Također, ukoliko tijekom godine dođe do nevremena koje uzrokuje štetu, na kulturama ostaju zabilježeni točni podaci o vremenskim prilikama na tom području te ti podaci pomažu pri procjeni štete.

Promatranje vremenskih prilika važno je i u ekologiji, kod analiza utjecaja na okoliš različitih objekata kao što su tvornice, elektrane, naselja te na planiranje novih izvora onečišćenja.

1.3 Postupak mjerenja atmosferskih stanja

Većina meteoroloških uređaja u Republici Hrvatskoj koji mjere atmosferske prilike još uvijek nisu automatizirani te očitavanja vrše motritelji. Nakon očitavanja motritelji zapisuju podatke u dnevnik motritelja, ručno ih unose u računalo i pohranjuju u bazu podataka iz koje se dalje podaci koriste kao ulazi u simulacijske modele za predviđanje vremena.

Pri motrenju mogu nastati dvije vrste pogrešaka: sustavne (sistematske) i slučajne. Sustavne pogreške su stalne pogreške koje se očituju kao pogreške u dugom nizu opažanja i mjerenja. Toj vrsti pogrešaka pripadaju instrumentalne pogreške i pogreške zbog lošeg postupka motritelja. Na primjer, motritelj čini sustavnu pogrešku ako stalno motri prije ili poslije propisanog vremena ili ako stalno čita nižu ili višu vrijednost na instrumentu i slično. Slučajne pogreške nastaju uvijek nekom zabunom ili previdom motritelja, a vrlo rijetko nekim poremećajem instrumenta. Obje vrste pogrešaka pričinjavaju velike teškoće pri korištenju meteoroloških podataka. Pogrešan podatak je štetniji nego kad ga uopće ne bi bilo. Najveći broj pogrešaka nastaje uslijed nepažnje i nedovoljnog znanja motritelja. [7]

Kako bi se izbjegle greške motritelja u očitavanju mjernih podataka, potrebno je računalno obavljati dotičnu operaciju. Za računalno očitavanje potrebni su i drugačiji osjetnici koji fizikalnu veličinu pretvaraju u električnu.

Danas postoji mnoštvo proizvođača koji nude takve mjerne uređaje sa puno osjetnika koji ispisuju mjerne rezultate na ekranu, pohranjuju ih na memorijsku karticu ili se mogu spojiti na računalo zbog obrade. Cijena takvih uređaja je relativno niska (oko 1500 kn - 3000 kn), no nedostaci takvih uređaja su nemogućnost instalacije u područjima gdje nema električne energije i ručni unos u bazu podataka. Uređaji sa autonomnim solarnim napajanjem i prijenosom podataka putem GSM-a (mobilne mreže) dosta su skupi (oko 20000 kn) te je očitavanje podataka omogućeno samo na računalu koje posjeduje program od navedenog uređaja. Zbog visoke cijene mjernog uređaja i želje za poboljšanjem prikaza podataka sa više postaja u jednom sustavu nastao je ovaj rad.

U sljedećim poglavljima je opisano projektiranje i izrada mreže autonomnih meteoroloških postaja sa sljedećim senzorima: temperature, tlaka, relativne vlažnosti, brzine i smjera vjetra, količine padalina, detekcije tuče, geografskim položajem i nadmorskom visinom postaje. Navedeni podaci šalju se putem GSM-a na centralno računalo. Prikaz podataka odvija se putem web stranice koja se spaja u bazu podataka na centralnom računalu. Također je projektirano i izrađeno prenosivo postolje za cijeli uređaj te autonomno solarno napajanje.

Poglavlje 2

Općenito o meteorološkim postajama

Uređaj opremljen instrumentima za promatranje atmosferskih uvjeta kojim se provode meteorološka mjerenja naziva se meteorološka postaja. Tipične veličine koje meteorološke postaje mjere su: temperatura, tlak, relativna vlažnost, brzina i smjer vjetra, količina padalina. Postoje i specijalizirane vrste meteoroloških postaja koje se koriste u poljoprivredne svrhe te one mjere neke dodatne veličine kao što su isparavanje tla, temperatura tla na raznim dubinama (5cm - 100cm), vlažnost lista, sunčevo zračenje i slično.

2.1 Podjela meteoroloških postaja [\[7\]](#)

Prema namjeni i programu rada meteorološke postaje osnovne mreže meteorološke postaje dijele se na:

- glavne meteorološke postaje
- obične meteorološke postaje
- kišomjerne postaje

Prema tehnološkom pristupu meteorološke postaje se dijele na:

- postaje s konvencionalnim instrumentima
- postaje s konvencionalno-elektroničkim instrumentima
- postaje samo s elektroničkim instrumentima

S obzirom na to razlikuju se konvencionalne poluautomatske i automatske postaje

2.1.1 Glavna meteorološka postaja

Glavna meteorološka postaja je meteorološka postaja osnovne mreže Državnog hidrometeorološkog zavoda, s profesionalnim meteorološkim motriteljima, na kojoj se

obavljaju opažanja i mjerenja prema različitim programima rada za potrebe: praćenja i prognoze vremena i klime, proučavanja atmosfere, agrometeorologije, tehničke meteorologije, hidrologije, zaštite okoliša i ostalih gospodarstvenih djelatnosti i znanstvenih disciplina.

Na glavnoj meteorološkoj postaji obavljaju se sljedeća opažanja: sadašnjeg vremena, prošlog vremena, oblaka: količina (naoblaka) i vrsta, visine podnice oblaka, vidljivosti, posebnih pojava, stanja tla, fenološka opažanja (prema potrebi), jačine vjetra, stanja mora na obalnim postajama.

Na glavnoj meteorološkoj postaji obavljaju se sljedeća mjerenja: smjera i brzine vjetra na visini od 10 m iznad tla, temperature zraka na 2 m iznad tla, ekstremne (minimalne i maksimalne) temperature zraka na 2 m iznad tla, temperature tla na dubinama 2, 5, 10, 20, 30, 50 i 100 cm, minimalne temperature zraka na 5 cm iznad tla, temperature vode ako postoje uvjeti, tlaka zraka na razini barometra, tendencije tlaka zraka, karakteristike tendencije tlaka zraka, vlažnosti zraka na 2 m iznad tla, vlažnosti tla, oborine (vrsta, količina i intenzitet), snježnog pokrivača (mjera pokrivenosti tla snijegom; visina snježnog pokrivača i gustoća snijega), dubine zamrzavanja i odmrzavanja tla, trajanja sijanja Sunca, isparavanja.

2.1.2 Obična meteorološka postaja

Obična meteorološka postaja je meteorološka postaja osnovne mreže Državnog hidrometeorološkog zavoda na kojoj se obavljaju opažanja i mjerenja meteoroloških elemenata i pojava za potrebe klimatologije i agrometeorologije.

Na običnoj meteorološkoj postaji obavljaju se sljedeća opažanja: atmosferskih pojava, količine oblaka (naoblake), vidljivosti, fenološka opažanja (prema potrebi), jačine vjetra.

Na običnoj meteorološkoj postaji obavljaju se sljedeća mjerenja: smjera i brzine vjetra na 10 m iznad tla, temperature zraka na 2 m iznad tla, ekstremne (minimalne i maksimalne) temperature zraka na 2 m iznad tla, temperature tla (prema potrebi), vlažnosti zraka na 2 m iznad tla, oborine (vrste i količine), visine snježnog pokrivača.

2.1.3 Kišomjerna meteorološka postaja

Kišomjerna postaja je meteorološka postaja osnovne mreže na kojoj se obavljaju opažanja i mjerenja oborine i atmosferskih pojava.

Na kišomjernoj meteorološkoj postaji obavljaju se opažanja i mjerenja: oborine (vrsta i količina), visine snježnog pokrivača, praćenje atmosferskih pojava, fenološka opažanja (po potrebi).

2.2 Postavljanje meteorološke postaje [7]

Mjesto za postavljanje meteorološke postaje treba zadovoljavati sljedeće uvjete:

- da je reprezentativno u meteorološkom smislu, tj. da ima takav položaj na kome će opažene i izmjerene meteorološke pojave i elementi predstavljati vrijeme, a time i klimu što šire okolice
- da je na otvorenom prostoru kako bi zrak slobodno strujao sa svih strana
- da u njegovoj blizini nema predmeta ni objekata koji bi utjecali na pojave i elemente koji se opažaju i mjere na meteorološkoj postaji
- da tlo na kome se predviđa njeno postavljanje odgovara prirodnim uvjetima tog kraja
- da nije na nagnutom tlu, na grebenu, uz strmu obalu, prijevoju ili u njihovoj blizini
- da je zemljište motrilišta po mogućnosti obraslo travom, ako to prirodni uvjeti dopuštaju
- da se ne planira nikakva izgradnja u neposrednoj blizini mjesta određenog za meteorološku postaju

Za glavnu meteorološku postaju potrebna je, s obzirom na program rada i instrumentalnu opremu, površina zemljišta od 20x20 m, a za običnu meteorološku (klimatološku) postaju 9x6 m. Ograđeni prostor površine 20x20 m (slika 2.1) naziva se motrilište ili meteorološki krug glavne meteorološke postaje, a ograđeni prostor od 9x6 m motrilište ili meteorološki krug obične meteorološke (klimatološke) postaje. Nadmorska visina meteorološke postaje je određena nadmorskom visinom tla ispod meteorološke kućice (zaklona) u motrilištu.

Izbor mjesta za postavljanje meteorološke postaje osnovne mreže određuju ovlašteni stručnjaci Državnog hidrometeorološkog zavoda.



Slika 2.1: Motrilište glavne meteorološke postaje

2.3 Mjerne veličine

Senzori su elementi koji mjere mjerne veličine kod kojih neko električno svojstvo ovisi o jednoj fizikalnoj (neelektričnoj) veličini [12]. U praktičnoj izvedbi senzora nemoguće je postići da električno svojstvo ovisi samo o jednoj fizikalnoj veličini, no utjecaji ostalih fizikalnih veličina pokušavaju se svesti na minimum kako bi se taj utjecaj mogao zanemariti, tj. svrstati u mjernu toleranciju. Kod mjerenja pojedinih fizikalnih veličina ponekad to nije moguće zanemariti pa se onda posebnim senzorom mjeri ta veličina koja uzrokuje "smetnje". Kako je sad poznata veličina koja utječe na točnost mjerenja željene veličine, moguće je u mjernom rezultatu oduzeti tu grešku.

Često su uz senzore potrebni i dodatni sklopovi za prihvatanje i obradu signala jer su signali dobiveni iz senzora niskih amplituda te ih je potrebno pojačati, a neke i linearizirati. Senzori i takvi sklopovi podložni su vanjskim atmosferskim uvjetima (temperatura, vlaga) pa nepovoljno utječu na točnost mjernog rezultata.

U posljednje vrijeme sve više se razvijaju MEMS senzori (eng. micro-electro-mechanical sensor) koji već u sebi imaju sklopove za prihvatanje i obradu signala kao i potrebnu kompenzaciju od drugih fizikalnih veličina koje nepovoljno utječu na mjerni rezultat. Takvi senzori informaciju o izmjerenoj veličini digitalnom komunikacijom šalju mikrokontroleru. Prednost takvih senzora jest ta što su malih dimenzija, nepotrebno im je dodavati dodatno sklopovlje, nepotrebna je kalibracija senzora, manja je vjerojatnost pogreške od konvencionalnih senzora.

2.3.1 Temperatura

Temperatura je fizikalna veličina kojom se izražava toplinsko stanje neke tvari i jedna je od osnovnih veličina u termodinamici. Ona ovisi o tome koliko unutarnje energije sadrži neko tijelo određene mase i tlaka. Postoji više mjernih jedinica za temperaturu. U Europi temperaturu mjerimo u Celzijevim stupnjevima ($^{\circ}\text{C}$), a u SAD-u su uvriježeni Fahrenheitovi stupnjevi ($^{\circ}\text{F}$). SI jedinica za termodinamičku temperaturu je Kelvin (K). Veza između Kelvinovih i Celzijevih stupnjeva glasi: $T(\text{K}) = 273,15 + t(^{\circ}\text{C})$. [2]

Na meteorološkim postajama redovito se mjeri temperatura zraka, a po potrebi i temperatura tla i vode. Osnovne točke Celzijeve ljestvice su 0° i 100° . Podjeljak 0°C predstavlja točku ljestvice na kojoj se voda smrzava, a 100°C točku vrenja vode pri standardnom tlaku zraka.¹ Temperaturu iznad 0°C nazivamo pozitivnom. Temperaturu ispod 0°C nazivamo negativnom i označavamo je znakom “-“ (minus) ispred broja. Temperatura se mjeri termometrima s točnošću desetinke stupnja Celzijeve. [7]

Temperatura zraka se obično mjeri na visini od 2 metra iznad tla kako bi postojala cirkulacija zraka. Instrument za mjerenje temperature mora biti u hladovini, dakle zaklonjen od izravnog sunčevog zračenja te ne smije biti izložen izravnom utjecaju vjetra. Postoji i poseban minimalni termometar koji se postavlja na visinu od 5 cm iznad tla i koji mjeri

¹standardni atmosferski tlak se definira kao srednji tlak na morskoj razini i on iznosi 101 325 Pa

iznos minimalne temperature koja se očitava ujutro.

Mjerenje te temperature posebice je važno zbog praćenja pojave mraza, s obzirom na to da je noću, pri situacijama bez vjetera, temperatura i nekoliko stupnjeva niža nego ona na visini od 2 metra. Osim toga, može se mjeriti i temperatura tla na nekoliko različitih dubina. Najčešće je to dubina od 5 cm, ali može biti i dublje, sve do jednog metra.

2.3.2 Vlaga

Zrak uvijek sadrži manju ili veću količinu vodene pare i zbog toga govorimo o vlažnosti ili vlazi zraka. Vodena para je bezbojan i nevidljiv plin, bez okusa i mirisa. Ona se pri određenim temperaturama može pretvoriti iz plinovitog u tekuće ili čvrsto stanje. Zahvaljujući ovim svojstvima vodene pare, u atmosferi se stvaraju oblaci, magla, rosa, mraz, inje, kiša, snijeg, tuča, itd. [7]

Vlažnost zraka može se izraziti na više načina kao: apsolutna vlažnost, relativna vlažnost, temperatura rosišta. Apsolutna vlažnost zraka je masena koncentracija vode (u obliku pare) u zraku. Ona je omjer mase vodene pare i volumena zraka. Relativna vlažnost zraka je omjer apsolutne vlage zraka i maksimalne apsolutne vlage na toj temperaturi.

Na meteorološkim postajama obično se određuje relativna vlažnost i temperatura rosišta. Relativna vlažnost izražava se u postocima (%) dok se temperatura rosišta izražava u Celzijevim stupnjevima (°C).

2.3.3 Tlak

Atmosferski tlak je tlak na bilo kojem dijelu Zemljine atmosfere. Uzima se da je jednak hidrostatskom tlaku koji uzrokuje Zemljina atmosfera koja se nalazi u stupcu iznad točke mjerenja. Područja nižeg tlaka imaju manju masu atmosfere iznad sebe, a područja s većim tlakom imaju veću. Sukladno tomu, porastom nadmorske visine, smanjuje se stupac atmosfere pa atmosferski tlak opada. Na morskoj razini atmosferski tlak je najveći te je tim tlakom definiran tlak od jedne atmosfere. [3]

Mjerna jedinica za tlak zraka je Pascal (Pa), a u meteorologiji češće se koristi hektopaskal (hPa). Jedna atmosfera odgovara tlaku od 101 325 Pa. Pri izražavanju tlaka zraka u meteorološkim postajama on se svodi na srednju razinu mora kako bi ga bilo moguće uspoređivati na svim postajama međusobno.

Kako bi izmjereni tlak na meteorološkoj postaji sveli na tlak na srednjoj razini mora koristi se sljedeća formula: [6]

$$p_0 = \frac{p}{\left(1 - \frac{v}{44330}\right)^{5.255}}$$

gdje su p_0 tlak na srednjoj razini mora, p izmjereni tlak na meteorološkoj postaji, v - nadmorska visina na kojoj je izmjeren tlak. Prema toj formuli svakih 10 metara nadmorske visine tlak se smanjuje za 1.2 hPa.

2.3.4 Količina padalina

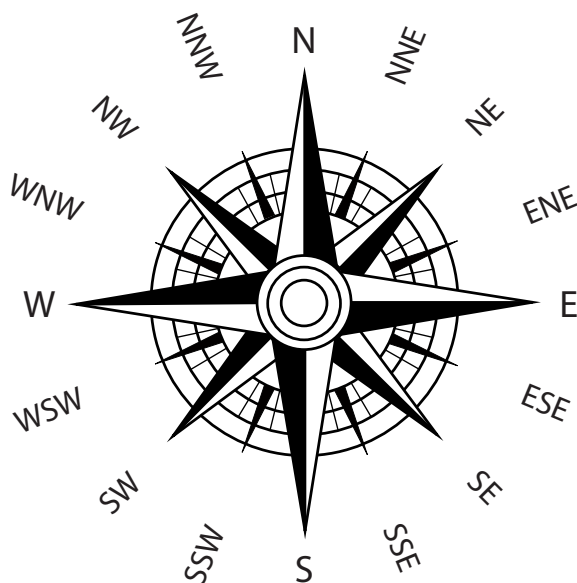
Oborina je skupina vodenih čestica koje padaju iz oblaka na tlo, bilo u tekućem ili krutom stanju. Nastaju kondenzacijom vodene pare u zraku. Mjera količine oborine je visina sloja oborine na vodoravnom tlu kada od nje ništa ne bi oteklo, upilo se u tlo ili isparilo. Visina sloja oborine mjeri se milimetrima i desetinkama milimetra. Jedan milimetar oborine znači da je pala 1 litra oborine na 1 metar četvorni ($1/m^2$). [7]

2.3.5 Brzina i smjer vjetra

Vjetar je horizontalna komponenta strujanja zraka. On je vektorska veličina i potpuno je određen kad mu poznamo smjer i brzinu ili jačinu. Mjerenje i opažanje vjetra obavlja se na ravnom i otvorenom prostoru gdje nema visokih prepreka (zgrada, drveća, uzvišenja itd.) koje bi mogle ometati strujanje zraka. Budući da se vjetar zbog trenja u prizemnom sloju naglo mijenja s visinom, mjerenja se uvijek obavljaju na istoj visini iznad tla, a međunarodno je usvojeno da ta visina bude 10 m iznad otvorenog prostora.

Na meteorološkim postajama smjer vjetra određuje se tako da se promatra prevladavajući smjer iz kojeg vjetar puše. Smjer vjetra označava se prema stranama svijeta. Kao oznaka za smjer vjetra uzima se ona strana svijeta s koje vjetar puše, tj. otkud zračna struja dolazi. Tako se vjetar koji puše sa sjevera naziva sjevernjak ili sjeverni vjetar, s juga južni vjetar, a s istoka istočnjak, itd. [7]

Za označavanje smjera vjetra služi ruža vjetra. Ruža vjetra može imati 4, 8, 16, 32 i 36 smjerova. Kad se osim glavnih smjerova uvažavaju i međusmjerozi (NE, SE, SW, NW) onda je to ruža s 8 smjerova. Daljnjom podjelom dobiva se ruža sa 16 smjerova (slika 2.2). Tablica 2.1 označava kuteve azimuta svih smjerova vjetrova koji su prikazani na slici 2.2.



Slika 2.2: Ruža vjetrova

Tablica 2.1: Smjerovi vjetra [7]

Hrvatski naziv međunarodnih kratica	Međunarodna kratica	Stupnjevi
sjever - sjeveroistok	NNE	22,5°
sjeveroistok	NE	45°
istok - sjeveroistok	ENE	67,5°
istok	E	90°
istok - jugoistok	ESE	112,5°
jugoistok	SE	135°
jug - jugoistok	SSE	157,5°
jug	S	180°
jug - jugozapad	SSW	202,5°
jugozapad	SW	225°
zapad - jugozapad	WSW	247,5°
zapad	W	270°
zapad - sjeverozapad	WNW	292,5°
sjeverozapad	NW	315°
sjever - sjeverozapad	NNW	337,5°
sjever	N	360°

Stupnjevi azimuta navedeni su od sjevera prema istoku, gdje je sjever 0° i 360°

Pod brzinom vjetra podrazumijeva se prijedeni put što ga prevali zračna masa u jedinici vremena. Brzina vjetra iskazuje se u metrima u sekundi (m/s), a u zračnom i pomorskom prometu u nautičkim miljama po satu tj. u čvorovima (kt), a za javnost i u kilometrima na sat (km/h). Na meteorološkim postajama određuje se srednja (prosječna), a ne trenutna brzina vjetra u terminu motrenja. Srednja brzina vjetra i prevladavajući smjer određuju se motrenjem vjetra u vremenu od 10 min za potrebe prognoze vremena, a za potrebe klimatologije u trajanju od 100 sekundi. Ako vjetar puše na mahove, u kratkim ali jednakim udarima, zove se mahovit ili rafalni vjetar. Kada nema vjetra ili kada je njegova brzina manja od 0.3 m/s, kažemo da je tišina. [7]

Određivanje jačine vjetra obavlja se pomoću Beaufortove ljestvice (tablica 2.2). Za procjenu jačine vjetra prema ovoj ljestvici upotrebljavaju se brojevi od 0 do 12, gdje 0 označava tišinu, a brojevi 1, 2, 3, itd. postupno sve jači i jači vjetar, tako da broj 12 predstavlja najjači mogući vjetar.

Tablica 2.2: Beaufortova ljestvica za procjenu jačine vjetra [7]

Broj po Beaufortu	Naziv vjetra	Brzina, m/s	Opis pojava
0	Tišina	0 - 0,2	Tiho; dim se podiže uspravno
1	Lagan povjetarac, lahor	0,3 - 1,5	Smjer vjetra se opaža po gibanju dima, a ne po vjetrulji
2	Povjetarac	1,6 - 3,3	Vjetar se osjeća na licu, lišće treperi, vjetrokaz se pokreće
3	Slabi vjetar	3,4 - 5,4	Lišće i grančice stalno se njišu, razvijaju se lake zastave
4	Umjereni vjetar	5,5 - 7,9	Vjetar podiže prašinu i listove papira; gibaju se male grane
5	Umjereno jaki vjetar	8,0 - 10,7	Tanja stabla počinju se njihati; formiraju se mali valovi na kopnenim vodama
6	Jaki vjetar	10,8 - 13,8	Njišu se velike grane; otežano korištenje kišobrana
7	Vrlo jaki (žestoki) vjetar	13,9 - 17,1	Ljuljaju se čitava stabla; hodanje uz vjetar je otežano
8	Olujni vjetar	17,2 - 20,7	Vjetar lomi grane drveća; hodanje nasuprot vjetru je gotovo nemoguće
9	Oluja	20,8 - 24,4	Nastaju manja oštećenja na objektima (skidanje crijepova, rušenje dimnjaka)
10	Jaka oluja	24,5 - 28,4	Drveće se lomi ili čupa iz korijena; nastaju značajna oštećenja na objektima
11	Orkanska oluja	28,5 - 32,6	Vrlo rijetko se doživljava; praćena štetama velikih razmjera
12	Orkanska oluja	32,7 - 36,9	Opustoši čitav kraj

2.3.6 Sunčevo zračenje

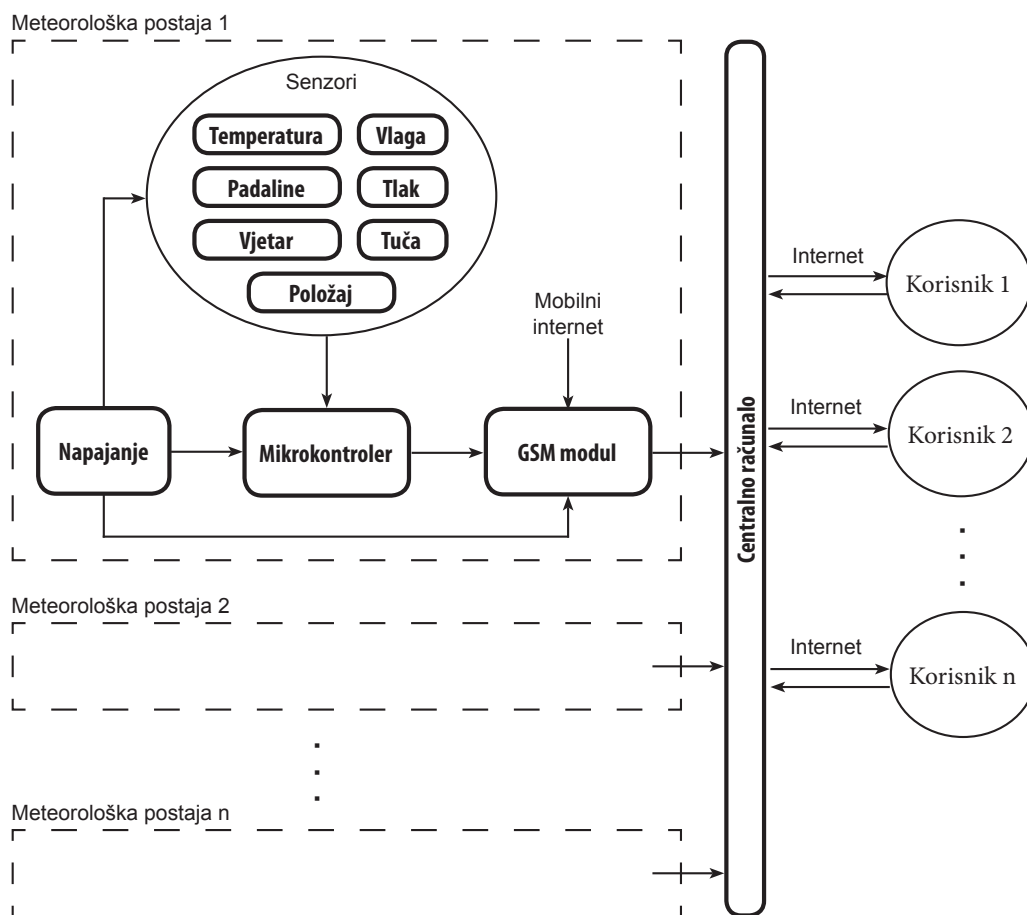
Sunčevo zračenje je količina energije što je prima Zemlja sa sunčevim zrakama. To zračenje sadrži najviše od emitirane energije u obliku kratkovalnog zračenja i svjetla. Samo jedan dio kratkovalnog zračenja dopijeva do zemljine površine, a preostali dio energije se reflektira, rasipa ili ju upije atmosfera. [4]

Izražava se dozračenom energijom po kvadratnom metru u nekom vremenu. Jedinica za sunčevo zračenje je W/m^2 .

Poglavlje 3

Projektiranje meteorološke postaje

U ovom poglavlju opisan je uređaj za mjerenje meteoroloških veličina, tj. meteorološka postaja. Svrha automatske meteorološke postaje je dostavljati izmjerene veličine centralnom računalu što češće i bez prisustva motritelja i na mjestima gdje nema električne energije. Zbog navedenih uvjeta, postaja mora biti robusna kako bi mogla raditi nesmetano bez zastoja. Podaci će se obrađivati na centralnom računalu te takvi pohranjivati u bazu podataka. Pregled i statistika izmjerenih podataka vršit će se putem web stranice na računalu koje ima pristup internetu. Shema cijelog sustava prikazana je na slici 3.1.



Slika 3.1: Shema sustava meteorološke postaje

3.1 Senzori

Kako bi se uklonila mogućnost greške i potreba dodatnog sklopovlja za prihvatanje i obradu signala, odabrani su MEMS senzori za mjerenje temperature, relativne vlažnosti, tlaka i tuče. Tehnologija MEMS senzora donosi senzore malih dimenzija sa ugrađenim mikrokontrolerom za linearizaciju i kalibraciju mjernih veličina. Mjerni podatak senzor šalje digitalnom komunikacijom mikrokontroleru koji ga prima te ga takvog proslijeđuje centralnom računalu. Digitalnom komunikacijom uklanja se mogućnost smetnji nastalih zbog dužine kabela i okolnih uvjeta.

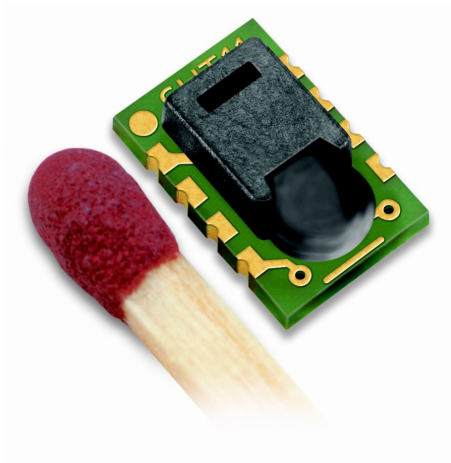
Senzori brzine vjetra i količine padalina imaju frekvencijski izlaz koji je također otporan na smetnje, dok senzor smjera vjetra daje analogni naponski signal.

3.1.1 Senzor temperature i relativne vlažnosti

Kao senzor za mjerenje relativne vlažnosti zraka odabran je senzor SHT15 tvrtke *Sensirion*. Budući da mjerenje relativne vlažnosti ovisi i o temperaturi potrebno je također mjeriti i temperaturu zraka kako bi se utjecaj temperature na mjerenje relativne vlažnosti mogao ukloniti. Kako navedeni senzor mjeri relativnu vlažnost i temperaturu, nepotrebno je dodavati posebni senzor temperature jer ovaj senzor sa zadovoljavajućom točnošću i ponovljivošću mjeri zadane veličine.

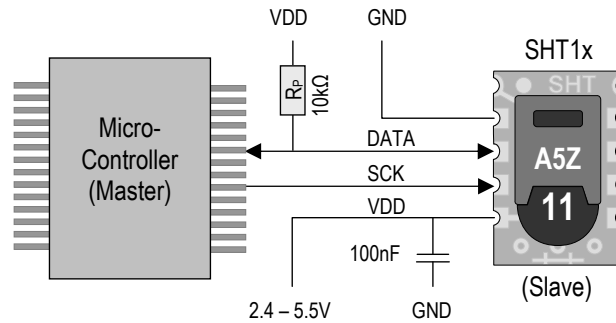
Neke od karakteristika senzora su:

- u potpunosti kalibriran
- digitalna komunikacija
- niska potrošnja energije
- odlična temperaturna postojanost
- točnost mjerenja relativne vlage $\pm 2\%$
- točnost mjerenja temperature $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$

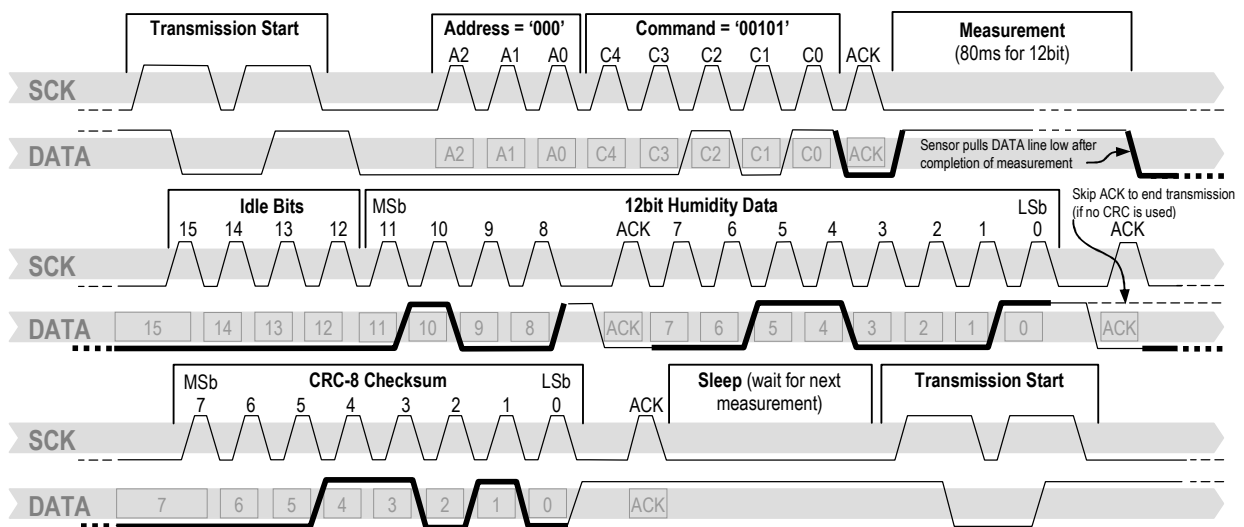


Slika 3.2: Senzor temperature i relativne vlažnosti SHT15

Senzor se priključuje na napajanje od 2,4 V do 5 V, prosječna potrošnja struje je $28 \mu\text{A}$ dok maksimum postiže u mjerenju sa 1 mA. Dodatne komponente za pravilan rad senzora su jedan otpornik i jedan kondenzator. Spajanje se vrši prema shemi na slici 3.3. Komunikacija sa mikrokontrolerom odvija se putem dvije komunikacijske linije. Protokol komunikacije propisan je od strane proizvođača i prikazan je na slici 3.4.



Slika 3.3: Shema spajanja senzora SHT15 [10]



Slika 3.4: Protokol komunikacije senzora SHT15 [10]

Podatak temperature koji mikrokontroler primi je broj u obliku 14 bitnog broja¹ koji odgovara izmjerenoj temperaturi. Formula koja povezuje taj podatak sa stvarnom temperaturom u Celzijevim stupnjevima ($^{\circ}\text{C}$) glasi:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T \quad (3.1)$$

gdje su T tražena temperatura zraka, SO_T dobiveni 14 bitni broj, d_1 i d_2 kalibracijske konstante koje iznose: $d_1 = -39,6$, a $d_2 = 0,01$

¹14 bitni broj - broj koji je moguće zapisati sa 14 znamenaka u binarnom sustavu

Relativnu vlažnost zraka mikrokontroler prima u obliku 12 bitnog broja pa se računanjem dobije relativna vlažnost zraka u postocima (%) prema formuli:

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (3.2)$$

gdje su RH_{linear} vrijednost relativne vlage bez temperaturne kompenzacije, SO_{RH} 12 bitni broj, a c_1 , c_2 , c_3 kalibracijske konstante koje iznose $c_1 = -2,0468$, $c_2 = 0,0367$, $c_3 = -1,5955 \cdot 10^{-6}$

Kako bi se otklonila greška temperature koja utječe na mjerenje relativne vlažnosti potrebno je prije dobivene vrijednosti uvrstiti u formulu:

$$RH_{true} = (T - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear} \quad (3.3)$$

gdje su RH_{true} tražena relativna vlažnost zraka u %, T temperatura zraka u °C, SO_{RH} 12 bitni broj dobiven komunikacijom od senzora, RH_{linear} prethodno izračunata vrijednost, a t_1 i t_2 konstante za temperaturnu kompenzaciju koje iznose $t_1 = 0,01$, a $t_2 = 0.00008$

Iz navedenih izmjerenih podataka, tj. relativne vlažnosti zraka i temperature zraka moguće je izračunati točku rosišta prema formuli:

$$T_d(RH, T) = T_n \cdot \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}} \quad (3.4)$$

gdje su T_d točka rosišta u °C, T_n konstanta prema tablici 3.1, RH vlažnost zraka u %, m konstanta prema tablici 3.1, T temperatura zraka u °C

Tablica 3.1: Parametri za izračun točke rosišta

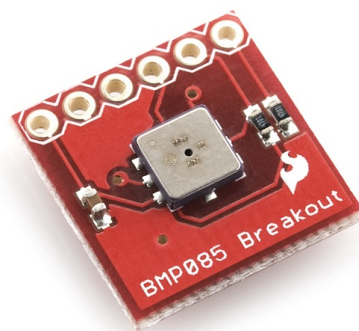
Temperatura	T_n °C	m
0 -- 50 °C	243,12	17,62
-40 -- 0 °C	272,62	22,46

3.1.2 Senzor tlaka

Za mjerenje tlaka odabran je MEMS senzor BMP085 tvrtke *Bosch*. Navedeni chip izveden je pomoću piezo otpornog osjetnika kojem mjerenje tlaka ovisi o temperaturi. BMP085 također posjeduje mikrokontroler sa unutarnjom memorijom u kojoj su pohranjeni kalibracijski parametri. Tim kalibracijskim parametrima uklanja se greška nastala uslijed ovisnosti o temperaturi, pomaka mjernog rezultata (eng. offset) te ostalih parametara senzora.

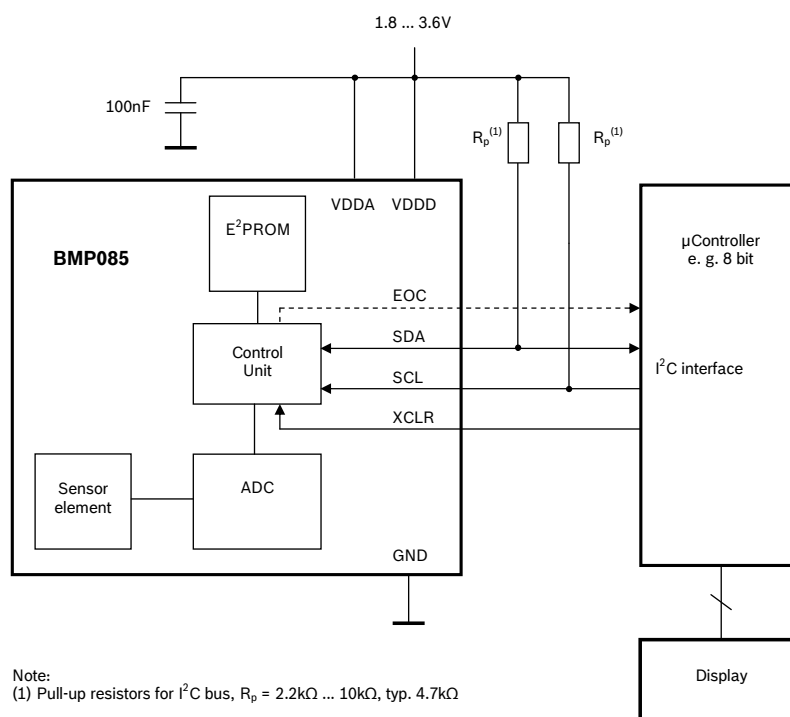
Karakteristike senzora BMP085 su:

- brzo vrijeme odziva
- digitalna komunikacija
- niska potrošnja energije
- potpuno kalibriran i linearan
- točnost mjerenja tlaka ± 0.5 hPa
- točnost mjerenja temperature ± 0.5 °C

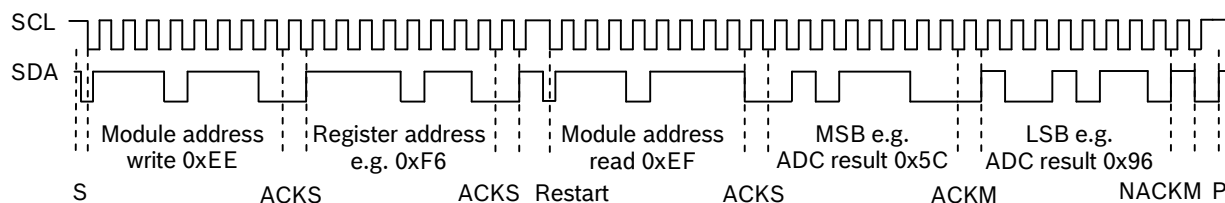


Slika 3.5: Senzor tlaka BMP085

Potreban napon za rad je 1,8 V do 3,6 V, a prosječna potrošnja struje je oko 12 μ A dok tijekom mjerenja maksimum može biti 1 mA. Dodatne komponente za pravilan su jedan kondenzator i dva otpornika. Spajanje se vrši prema slici 3.6. Komunikacija sa mikrokontrolerom odvija se preko I²C protokola. Protokol je prikazan na slici 3.7.



Slika 3.6: Shema spajanja senzora BMP085 [6]



Slika 3.7: Protokol komunikacije senzora BMP085 [6]

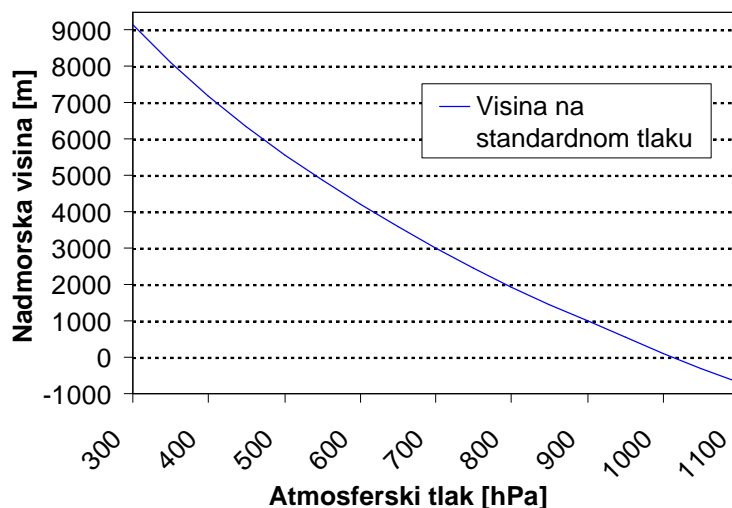
Podatak koji mikrokontroler prima je u obliku 19 bitnog broja. Taj broj vezan je za izmjereni tlak, ali da bi se dobio tlak zraka potrebno je provesti proračun sa kalibracijskim parametrima. Za svaki senzor ti parametri su drugačiji te se oni prije mjerenja očitaju iz memorije senzora. Primjer proračuna za izračun tlaka zraka prikazan je na slici 3.9.

Kako bi se izračunati tlak mogao uspoređivati sa različitim mjernim postajama potrebno ga je svesti na srednju razinu mora. Formula za to glasi:

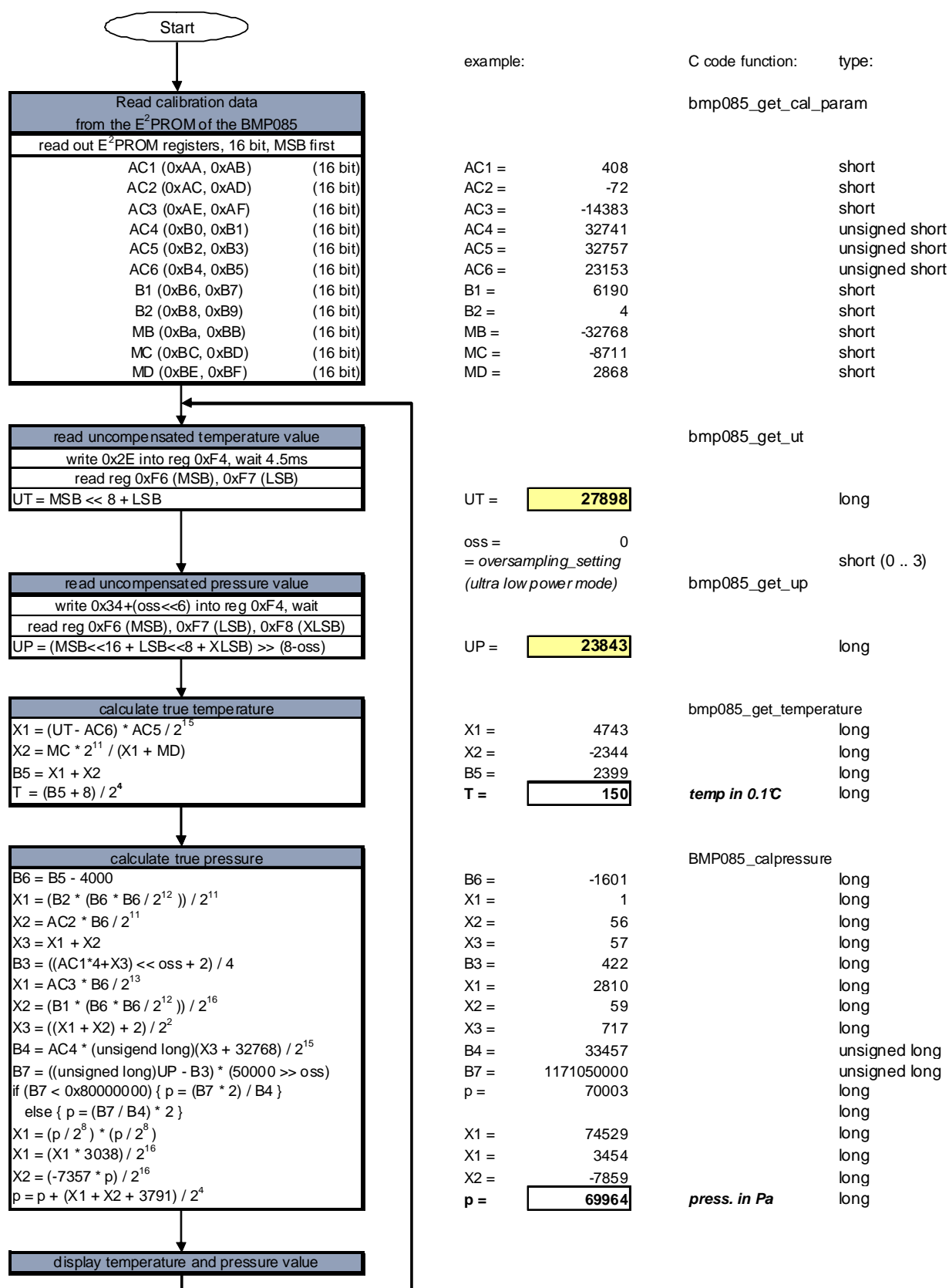
$$p_0 = \frac{p}{\left(1 - \frac{v}{44330}\right)^{5,255}} \quad (3.5)$$

gdje su p_0 tlak sa srednjom razini mora u hPa, p izmjereni tlak na razini postaje u hPa, v visina u m

Promjenu atmosferskog tlaka s nadmorskom visinom moguće je prikazati dijagramom:



Slika 3.8: Dijagram promjene tlaka s nadmorskom visinom [6]



Slika 3.9: Primjer proračuna tlaka [6]

3.1.3 Senzor brzine vjetra

Anemometri² s lopaticama su najčešće upotrebljavana vrsta anemometra. Jeftiniji su u odnosu na druge vrste anemometara i mogu biti vrlo robusni. Sastoje se od 3 ili 4 lopatice koje su smještene vertikalno na horizontalne nosače. Horizontalni nosači smješteni su na zajedničku osovinu koja se okreće zajedno s lopaticama (slika 3.10).



Slika 3.10: Anemometar

Na osovinu koja se okreće postavljen je magnet te svaki puta kada se zakrene za puni krug hallov senzor³ detektira magnet. Na taj način brzina vjetra proporcionalna je brzini vrtnje osovine. Analogno tome izlazni signal iz anemometra je frekvencijski, tj. što se brže vrti osovina u izlaznom signalu ima više impulsa. Brojenjem impulsa u nekom vremenu izračunava se brzina vjetra. Takav izlazni signal je digitalnog tipa te je otporan na dužinu kablova i smetnje okoliša.

Za mjerenje brzine vjetra odabran je anemometar tvrtke *Sparkfun*.

Karakteristike senzora su sljedeće:

- bezkontaktno mjerenje
- niska potrošnja struje oko 1 mA
- frekvencijski izlaz
- mjerenje brzine vjetra od 0 - 30 m/s
- napon napajanja od 3 V - 24 V
- 1 okretaj u sekundi iznosi 0,66 m/s

²Anemometar - uređaj za mjerenje brzine vjetra

³Hallov senzor - senzor koji mjeri magnetsko polje

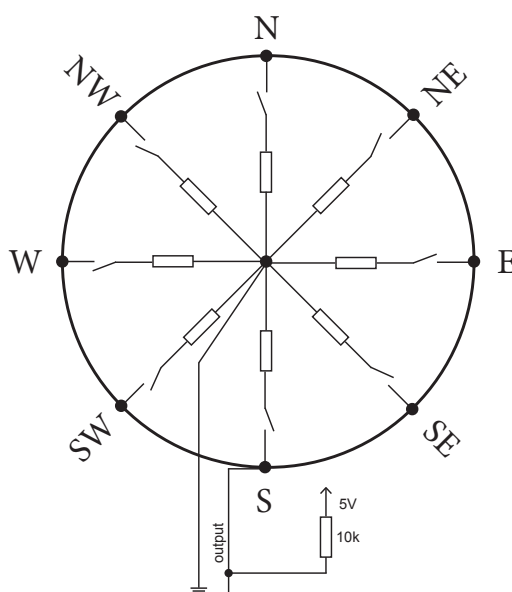
3.1.4 Senzor smjera vjetra

Senzor smjera vjetra mora imati na prednjem dijelu strelicu koja pokazuje prema kuda vjetar puše, a na zadnjem dijelu rep kako bi vjetar mogao rotirati strelicu, tj. mjeriti smjer vjetra (slika 3.11). U izvedbi je bitno da pokretni dio senzora može rotirati u bilo kojem smjeru i za bilo koji kut. Tako se mjerenje smjera svodi na određivanje kuta osovine za koji je zakrenuta ($0^\circ - 360^\circ$).



Slika 3.11: Senzor smjera vjetra

Za mjerenje smjera vjetra odabran je senzor tvrtke *Sparkfun*. Navedeni senzor sastoji se od 8 otporničkih djelila (slika 3.12). Za svaki položaj spoje se po 2 kontakta te se time dobiva 16 različitih smjerova koji odgovaraju ruži vjetrova iz prethodnog poglavlja (slika 2.2). Izlazni signal je analogni tj. svaki od 16 smjerova odgovara jednoj amplitudi napona (od 0 V do napona napajanja senzora). Tablica 3.2 prikazuje vrijednost otpora za svaki smjer i izlazni napon ako je senzor spojen na napajanje od 5V.



Slika 3.12: Shema spajanja senzora za smjer vjetra

Tablica 3.2: Izlazni podaci sa senzora za mjerenje smjera vjetra

Smjer, °	Otpor, R	Napon, V
0°	33 kR	3,84 V
22,5°	6,57 kR	1,98 V
45°	8,2 kR	2,25 V
67,5°	891 R	0,41 V
90°	1 kR	0,45 V
112,5°	688 R	0,32 V
135°	2,2 kR	0,90 V
157,5°	1,41 kR	0,62 V
180°	3,9 kR	1,40 V
202,5°	3,14 kR	1,19 V
225°	16 kR	3,08 V
247,5°	14,12 kR	2,93 V
270°	120 kR	4,62 V
292,5°	42,12 kR	4,04 V
315°	64,9 kR	4,78 V
337,5°	21.88 kR	3,43 V

3.1.5 Senzor količine padalina

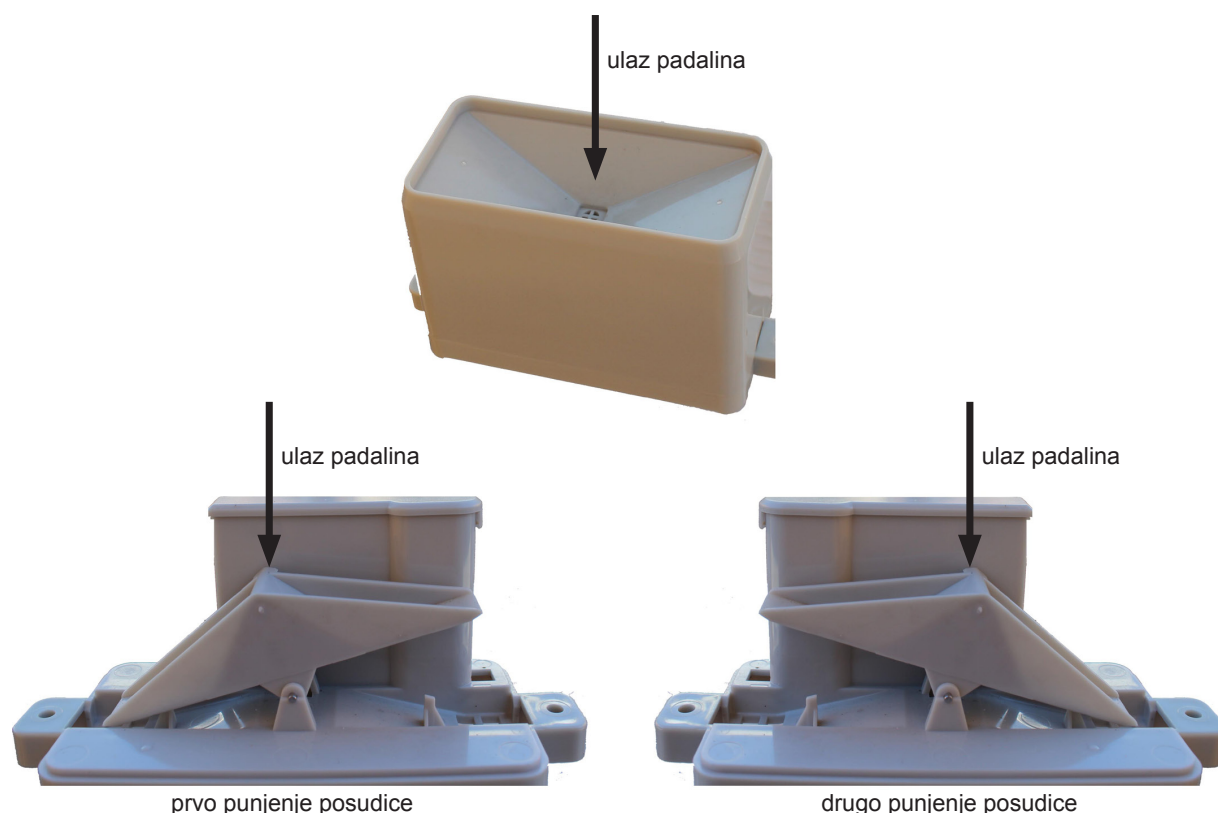
Postoje razne izvedbe senzora za mjerenje količine padalina koji neko vrijeme sakupljaju padaline u posudu te nakon tog vremena mjerenjem težine izračunavaju volumen padalina u dotičnom vremenskom intervalu. Zatim ispuste padaline iz spremnika kroz ventil te nakon što se posuda isprazni do kraja počinje novi ciklus mjerenja. Ovaj način je prilično mehanički složen i spor, ali je točan. Više se prakticira u mjernim postajama gdje mjerenja vrše motritelji.

Za potrebe automatskih mjernih postaja, mjerenja se vrše pomoću dvije posude na gredi koja je u centru spojena osovinom. Tako se padaline ulijevaju kroz lijevak i puni se prva posudica. Kada se ta posudica napuni, budući da je druga prazna, ta količina vode zakrene gredu i izlije vodu iz posudice. Nadalje se puni druga posudica te kada se napuni onda zakrene gredu u suprotnu stranu nakon čega se isprazni pa se opet puni prva posudica (slika 3.13). Time je dobiveno da se osovina na koju je spojena greda neprestano zakreće za pozitivan pa za negativan kut. Postavljanjem senzora koji detektira da je greda prošla kroz ravnotežni položaj zapravo se broji koliko se posudica napunilo u nekom vremenu.

Odabran je senzor tvrtke *Sparkfun* koji radi na opisanom principu.

Karakteristike senzora:

- bezkontaktno mjerenje
- niska potrošnja struje oko 1 mA
- frekvencijski izlaz
- jednostavno održavanje
- napon napajanja od 3 V - 24 V
- rezolucija mjerenja 0,32 mm/m²



Slika 3.13: Senzor količine padalina

3.1.6 Senzor intenziteta tuče

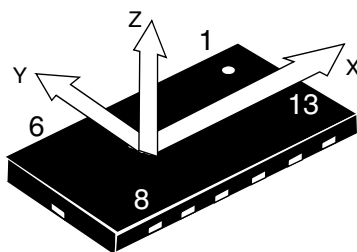
Konvencionalne meteorološke postaje za mjerenje tuče koriste mekane ploče na kojima ostaje udubljenje kada zrno tuče udari u njih. Nakon prolaska nevremena, motritelj uzima ploču i iz ploče mjeri podatke kao što su veličina zrna (promjer udubljena) i energija udara (dubina udubljenja). Kako bi se moglo mjeriti sljedeće padanje tuče potrebno je postaviti novu ploču. Budući da je ovakav princip nemoguće automatizirati, a postoji potreba u poljoprivredne svrhe znati koliki je bio intenzitet tuče, ideja je na ravnoj ploči mjeriti vibracije koje uzrokuje padanje tuče. Takvim pristupom, intenzitet tuče moguće je stupnjevati u četiri stupnja: tuča nije padala, intenzitet niski, intenzitet srednji, intenzitet visoki.

Za mjerenje intenziteta tuče odabran je akcelerometar LIS302 tvrtke *STMicroelectronics* (slika 3.14).

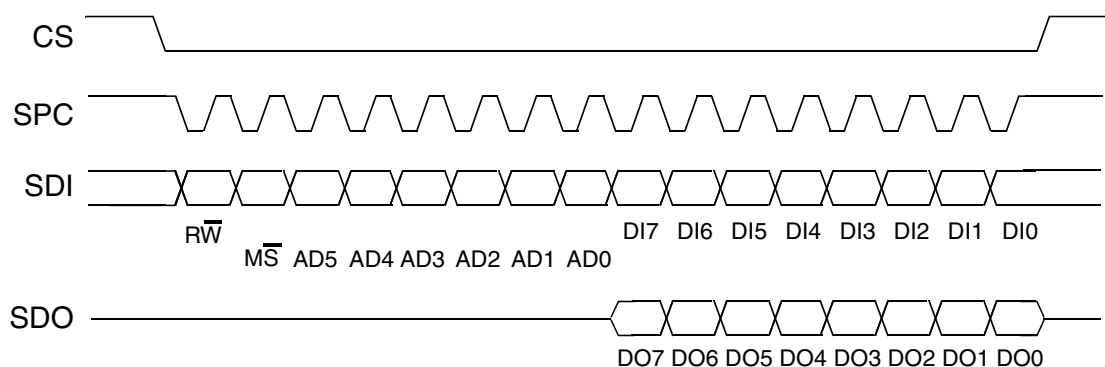
Karakteristike senzora su:

- brzo vrijeme odziva
- niska potrošnja energije
- digitalna komunikacija
- mjereno područje $\pm 8g$

Komunikacija senzora s mikrokontrolerom odvija se putem I²C ili SPI komunikacije. Protokol komunikacije prikazan je na slici 3.15



Slika 3.14: Senzor intenziteta tuče LIS302

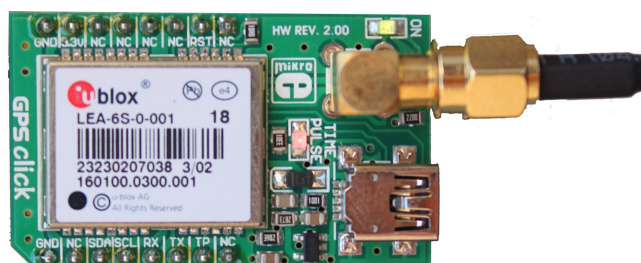


Slika 3.15: Protokol komunikacije LIS302

3.1.7 Senzor globalnog položaja - GPS

Kako bi se omogućilo lako postavljanje, održavanje i zaštita od krađe mjernih postaja, svaka postaja sadržavat će i GPS modul. Navedenim modulom dobivaju se informacije o geografskoj dužini i širini te nadmorska visina mjerne postaje. Tako je moguće na mapi prikazati točan položaj mjerne postaje, a nadmorska visina koristi se za izračun tlaka na srednjoj razini mora.

Time je nepotrebno nakon postavljanja mjerne postaje te podatke ručno unositi. Također, ovakvim sustavom održavanje se svodi na zamjenu postaje drugom za što nije potrebna kvalificirana osoba. Ukoliko dođe do krađe postaje njen položaj je uvijek poznat.



Slika 3.16: GPS modul LEA6

Odabran je GPS modul LEA6 tvrtke *Ublox*. Navedeni modul moguće je kupiti na gotovoj pločici gdje su već dodani svi potrebni dijelovi za rad modula (slika 3.16). Modul radi na naponu od 3 V - 3,6 V, uz potrošnju struje oko 150 mA. Komunikacija sa mikrokontrolerom odvija se preko serijske veze (USART) prema protokolu koji je propisao proizvođač. Novu informaciju o položaju i nadmorskoj visini modul šalje svake 2 sekunde u obliku paketa. Sadržaj paketa opisan je u tablici 3.3.

Tablica 3.3: Protokol komunikacije GPS modula LEA6 [11]

Message	GGA		
Description	Global positioning system fix data		
Firmware	Supported on u-blox 6 from firmware version 6.00 up to version 7.03.		
Type	Output Message		
Comment	The output of this message is dependent on the currently selected datum (Default: WGS84) Time and position, together with GPS fixing related data (number of satellites in use, and the resulting HDOP, age of differential data if in use, etc.).		
Message Info	ID for CFG-MSG	Number of fields	
	0xF0 0x00	17	

Message Structure:

```
$GPGGA,hhmmss.ss,Latitude,N,Longitude,E,FS,NoSV,HDOP,msl,m,Altref,m,DiffAge,DiffStation*cs<CR><LF>
```

Example:

```
$GPGGA,092725.00,4717.11399,N,00833.91590,E,1,8,1.01,499.6,M,48.0,M,,0*5B
```

Field No.	Example	Format	Name	Unit	Description
0	\$GPGGA	string	\$GPGGA	-	Message ID, GGA protocol header
1	092725.00	hhmmss.ss	hhmmss.ss	-	UTC Time, Current time
2	4717.11399	ddmm.mmmm	Latitude	-	Latitude, Degrees + minutes, see Format description
3	N	character	N	-	N/S Indicator, N=north or S=south
4	00833.91590	dddmm.mmmm	Longitude	-	Longitude, Degrees + minutes, see Format description
5	E	character	E	-	E/W indicator, E=east or W=west
6	1	digit	FS	-	Position Fix Status Indicator, See Table below and Position Fix Flags description
7	8	numeric	NoSV	-	Satellites Used, Range 0 to 12
8	1.01	numeric	HDOP	-	HDOP, Horizontal Dilution of Precision
9	499.6	numeric	msl	m	MSL Altitude
10	M	character	uMsl	-	Units, Meters (fixed field)
11	48.0	numeric	Altref	m	Geoid Separation
12	M	character	uSep	-	Units, Meters (fixed field)
13	-	numeric	DiffAge	s	Age of Differential Corrections, Blank (Null) fields when DGPS is not used
14	0	numeric	DiffStation	-	Diff. Reference Station ID
15	*5B	hexadecimal	cs	-	Checksum
16	-	character	<CR><LF>	-	Carriage Return and Line Feed

3.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler je elektronički uređaj koji, slično kao i računalo, ima zadaću zamijeniti čovjeka u kontroli dijela proizvodnog procesa ili gotovo cijelog proizvodnog procesa. Teško je definirati što će biti standardni ulaz i izlaz mikrokontroleru. Razlog tome je što su mikrokontroleri uglavnom dizajnirani za vrlo raznolike zadaće.

Ulazi mogu biti analogne i digitalne prirode, a podatke će primati od mjernog pretvornika(senzora) ili običnog prekidača.

Izlazi iz mikrokontrolera također mogu biti analogni i digitalni. Ti signali će se dalje po potrebi pojačati i isporučiti izvršnom uređaju.

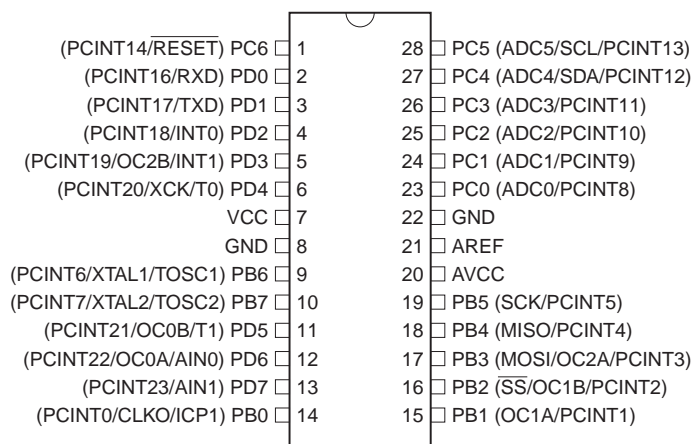
3.2.1 Mikrokontroler Atmega328P

Za prikupljanje i slanje podataka s meteorološke postaje odabran je mikrokontroler Atmega328P tvrtke *Atmel*. Navedeni mikrokontroler ima 28 nožica od čega su 22 nožice ulazno izlazne nožice, a preostalih 6 nožica služe za napajanje mikrokontrolera i osiguravanje pravilnog rada.

Mogući radni napon mikrokontrolera kreće se od 1,8 V do 5,5 V dok potrošnja struje iznosi od 1 mA do 5 mA zavisno o radnom naponi i brzini rada. Za pravilan rad potrebno je mikrokontroleru dodati kondenzator, otpornik na *reset* liniju te oscilator koji diktira brzinu rada mikrokontrolera.

Karakteristike mikrokontrolera su:

- USART komunikacija
- SPI komunikacija
- I²C komunikacija
- frekvencija do 20 MHz
- 3 timera
- 6 PWM izlaza (10-bit)
- 6 A/D pretvornika (10-bit)
- Flash memorija: 32 kB

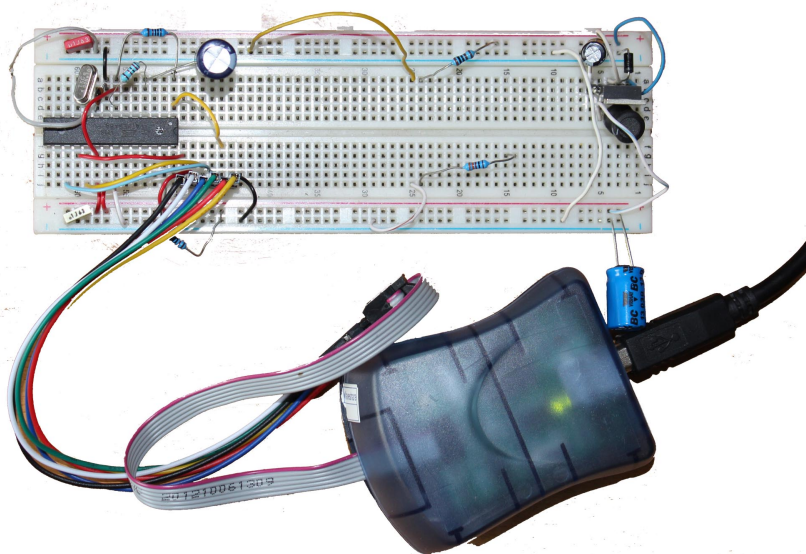


Slika 3.17: Raspored nožica mikrokontrolera Atmega328P

3.2.2 Programiranje mikrokontrolera

Kod za mikrokontroler pisan je u C jeziku u programu MikroC PRO for AVR tvrtke *Mikroelektronika*. Program ima mnoštvo gotovih funkcija pa se programiranje svodi na rješavanje problema koji mikrokontroler treba izvršavati. Tako napisani kod, program prevodi u strojni jezik koji je razumljiv mikrokontroleru.

Kako bi se taj kod iz računala preselio u mikrokontroler potreban je programator. Korišten je programator AVR MKII tvrtke *Atmel*. Programator se na računalo spaja preko USB ulaza, a na mikrokontroler pomoću 6 komunikacijskih linija (slika 3.18). Nakon spajanja programatora sa računalom i mikrokontrolerom pokreće se program AVRStudio koji vrši prebacivanje koda u mikrokontroler.



Slika 3.18: Programiranje mikrokontrolera

3.3 GSM modul

GSM modul zadužen je za komunikaciju mikrokontrolera i centralnog računala. On komunicira putem mreže nekog mobilnog operatera sa drugim mobilnim telefonom ili računalom. Komunikacija može biti u obliku SMS⁴ poruka, poziva ili putem nekog od internet protokola (npr. HTTP, TCP/IP,FTP itd.). U modul se jednostavno utakne SIM⁵ kartica mobilnog operatera, spoji se pripadajuća antena te je time modul spreman za komunikaciju.

Za komunikaciju meteorološke postaje sa centralnim računalom odabran je GSM modul GL865 tvrtke *Telit* (slika 3.19).

⁴SMS (eng. Short Message Service) je usluga slanja kratkih tekstualnih poruka unutar GSM standarda

⁵SIM (eng. Subscriber Identification Module) je kartica kojom mobilni operater dodjeljuje broj korisniku te putem iste obračunava naplatu



Slika 3.19: GSM modul Telit GL865

Karakteristike GSM modula:

- USART komunikacija
- protokol sa AT naredbama
- SMS podrška
- uspostavljanje i primanje poziva
- internet protokoli: TCP/IP, UDP, SMTP, ICMP, FTP, HTTP
- kompatibilan sa mrežama GSM/GPRS 850/900/1800/1900 MHz

Radni napon modula je od 3,4 V - 4,2 V, a potrošnja struje iznosi oko 100 mA dok je komunikacija u tijeku, a u čekanju potrošnja iznosi oko 20 mA.

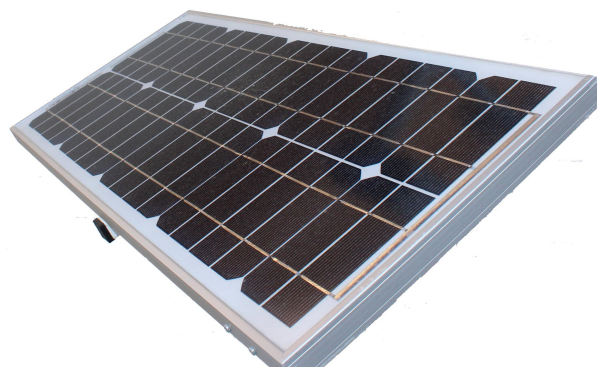
3.4 Solarno napajanje

Solarna ćelija (fotonaponska ćelija) je poluvodički uređaj koji pretvara sunčevu energiju izravno u električnu pomoću fotoelektričnog efekta. Grupe ćelija tvore solarne module, poznate kao solarni paneli ili fotonaponska ploča. Solarni paneli uglavnom imaju staklenu ploču sprijeda (prema suncu), propuštajući svjetlo i u isto vrijeme štiteći poluvodič od ogrebotina i utjecaja vjetrom nošenih čestica, kiše, tuče, itd. Solarne ćelije su često serijski spojene u modulima koji stvaraju zbirni napon. Ako se spoje paralelno, to rezultira većom strujom. Moduli se zatim međusobno spajaju, serijski, paralelno, ili oboje, da stvore polje sa željenim vršnim vrijednostima istosmjernog napona i struje. [5]

Meteorološka postaja napajat će se iz akumulatora kojeg će puniti solarni panel.

3.4.1 Solarni panel

Prosječna potrošnja meteorološke postaje procjenjuje se na 1 W. Kako meteorološka postaja mora biti robusna i raditi na mjestima gdje ima malo sunčanih dana, odabire se solarni panel od 15 W da bi se u vrlo kratkom vremenu akumulator stigao napuniti. Takav panel je u mogućnosti proizvoditi dovoljno energije za rad postaje po oblačnom vremenu.



Slika 3.20: Solarni panel od 15 W

Karakteristike solarnog panela:

- struja kratkog spoja 1 A
- maksimalna snaga 15 W pri 17 V
- napon otvorenog kruga 21 V

3.4.2 Akumulator

Akumulator je spremnik električne energije. Sastoji se od ćelija koje su spojene serijski i paralelno. Ćelije mogu biti izrađene od raznih materijala, a najčešće se koriste olovni akumulatori. Jedna ćelija olovnog akumulatora ima napon 2 V. Kombinacijom serijskog i paralelnog spoja ćelija moguće je dobiti potreban napon, struju i kapacitet akumulatora. Standardni olovni akumulatori koji se mogu kupiti su napona od 6 V i 12 V. Akumulatori od 12 V su rašireniji u raznim uređajima koji koriste akumulatorsko napajanje.

Odabran je standardni 12 V akumulator kapaciteta 7,2 Ah (slika 3.21). Potpuno pun akumulator je u mogućnosti 90 sati davati snagu od 1 W do potpunog ispražnjenja.



Slika 3.21: Akumulator 12V 7,2 Ah

Karakteristike akumulatora:

- nazivni napon 12 V
- maksimalna struja punjenja 1,8 A
- kapacitet 7,2 Ah
- maksimalni napon 15 V

3.4.3 Regulator punjenja akumulatora

Kod sustava koji se napajaju iz akumulatora potrebno je osiguranje akumulatora od prekomjernog punjenja i prekomjernog pražnjenja. Olovni akumulator nazivnog napona 12 V smije se puniti najviše do 14,7 V, a prazniti do 11 V. Preveliki napon (veći od 14,7 V) na akumulatoru mogao bi rezultirati prekomjernim grijanjem akumulatora ili čak i eksplozijom dok preniski napon (manji od 11 V) može rezultirati smanjenjem kapaciteta akumulatora ili nemogućnosti ponovnog punjenja.

Pravilno punjenje akumulatora također podrazumijeva i punjenje određenom jakosti struje (najčešće 1/10 kapaciteta). Punjenje većom strujom od nazivne struje punjenja rezultira smanjenjem kapaciteta akumulatora, a moguće je i pregrijavanje. Kako je maksimalna struja punjenja solarnog panela 1 A nepotrebno je regulirati struju punjenja. Punjenje se svodi na uključivanje punjenja ako je napon akumulatora manji od 13 V, a isključuje se ako je napon veći od 14,5 V.

Ukoliko se dogodi da solarni panel prekrije snježni pokrivač, lišće ili slično, mora postojati sklop koji će ugasi sve uređaje kada se napon akumulatora spusti na 11 V kako se akumulator nebi previše ispraznio.

Regulator punjenja će biti izrađen na pločici sa mikrokontrolerom kako bi se izbjegli dodatni uređaji, nepotrebno međusobno ožičenje i cijena dodatnog uređaja.

Poglavlje 4

Izrada meteorološke postaje

U ovom poglavlju opisana je izrada elektroničkog sklopovlja - izrada sheme i tiskane pločice, postolja meteorološke postaje, alata za termoformiranje, štita od sunčevog zračenja za senzor temperature. Na kraju će se prikazati ugradnja pojedinih komponenata.

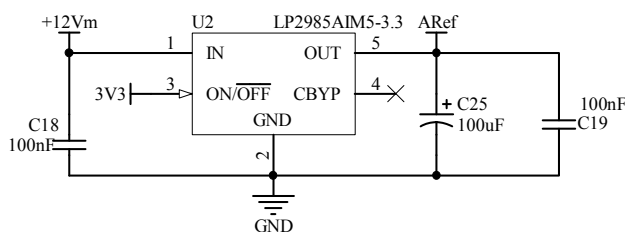
4.1 Elektroničko sklopovlje

Izrada automatske meteorološke postaje zahtjeva projektiranje elektroničke sheme. Prema navedenoj shemi potrebno je projektirati izgled tiskane pločice koja će povezivati sve potrebne komponente. Prema tako projektiranoj pločici slijedi izrada iste, potom sve komponente treba zalemiti na tiskanu pločicu i testirati sklop. Nakon testiranja potrebno je prebaciti program u mikrokontroler, sve senzore spojiti na predviđeno mjesto i testirati u realnim uvjetima. Shema i tiskana pločica izrađeni su u programu Altium Designer.

4.1.1 Projektiranje sheme

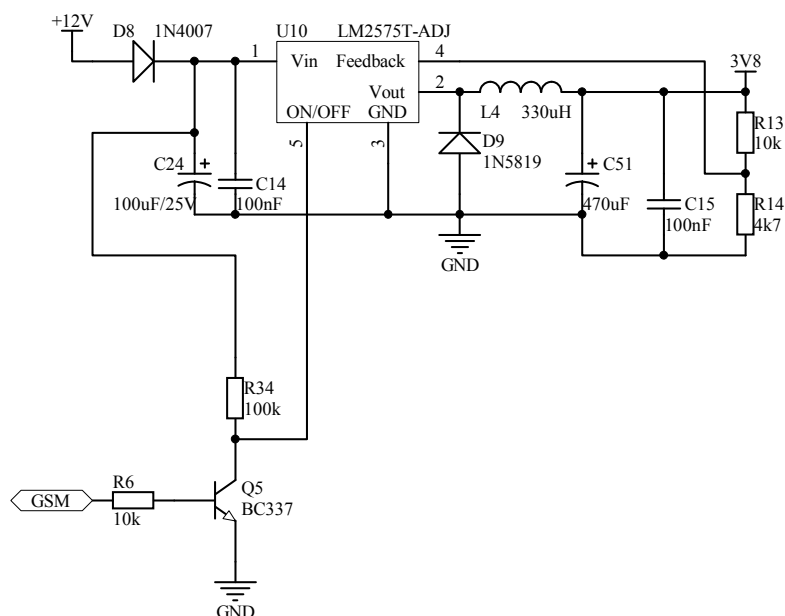
Navedeni senzori koje će koristiti meteorološka postaja rade na naponu 3,3 V do 3,6 V. Kako se napon akumulatora kreće od 11 V - 14,5 V, ovisno je li prazan ili pun, potrebno je koristiti stabilizatore napona za pojedine komponente.

Za napajanje mikrokontrolera i svih senzora odabran je stabilizator napona LP2985 koji daje na izlazu 3,3 V i maksimalno 150 mA. Uz njega je potrebno dodati još nekoliko kondenzatora za pravilan rad (slika 4.1).



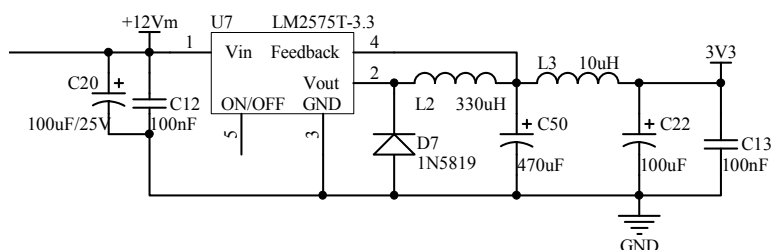
Slika 4.1: Spajanje stabilizatora napona LP2985

Radni napon GSM modula je 3,8 V i potrebno mu je 100 mA struje te je stoga odabran stabilizator napona LM2575T-ADJ kojemu se izlazni napon podešava u povratnoj vezi s 2 otpornika. Maksimalna izlazna struja stabilizatora je 1 A. Navedeni stabilizator napona posjeduje nožicu koja se koristi za paljenje i gašenje stabilizatora te se time GSM modul ugasi dok se čeka novo mjerenje. Time je postignuto nepotrebno trošenje struje u stanju čekanja. Uz stabilizator potrebne su još neke komponente koje prikazuje slika 4.2



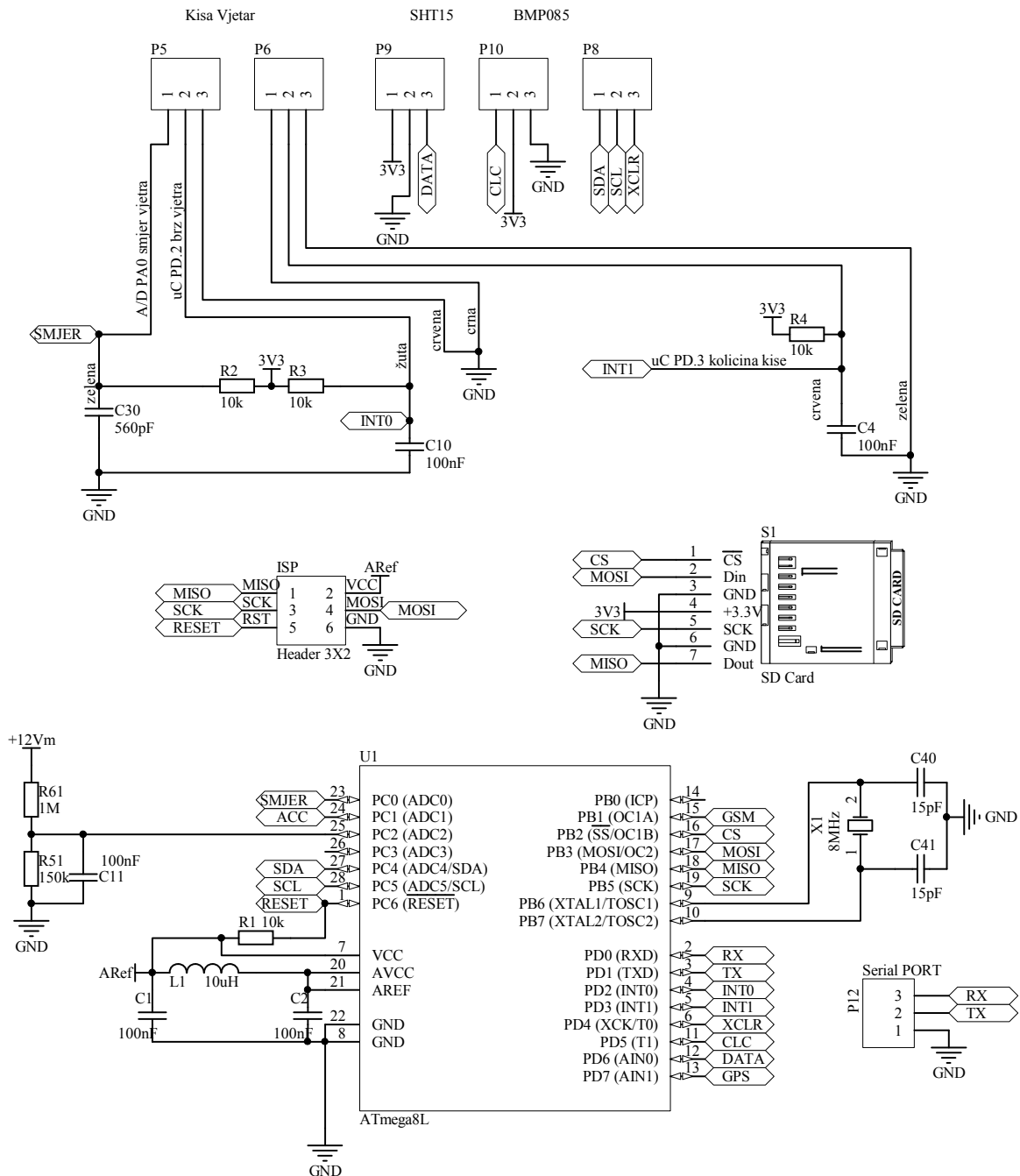
Slika 4.2: Spajanje stabilizatora napona LM2575T-ADJ

GPS modul radi na 3,3 V, ali zbog njegove potrošnje od 150 mA potreban mu je vlastiti stabilizator napona. Odabran je također LM2575T-3.3, ali verzija koja ima konstantan izlazni napon od 3,3 V. On posjeduje nožicu za paljenje i gašenje te se modul samo povremeno pali kako potrošnja struje ne bi bila prevelika.



Slika 4.3: Spajanje stabilizatora napona LM2575T-3.3

Mikrokontroler, mozak cijelog sustava, spojen je sa svim konektorima na koje se spajaju senzori, GSM i GPS modulom, konektorom za programiranje, konektorom serijske komunikacije koji služi za testiranje i održavanje te konektorom SD¹ kartice. SD kartica je bitna iz razloga ako mobilni signal postane nedostupan zbog raznih vremenskih uvjeta jer će svi podaci biti pohranjeni na njoj. Time se podaci čuvaju na centralnom računalu za svaku pojedinu postaju, a svaka postaja posjeduje i podatke na memorijskoj kartici. Shema spajanja sa mikrokontrolerom prikazana je na slici 4.4.

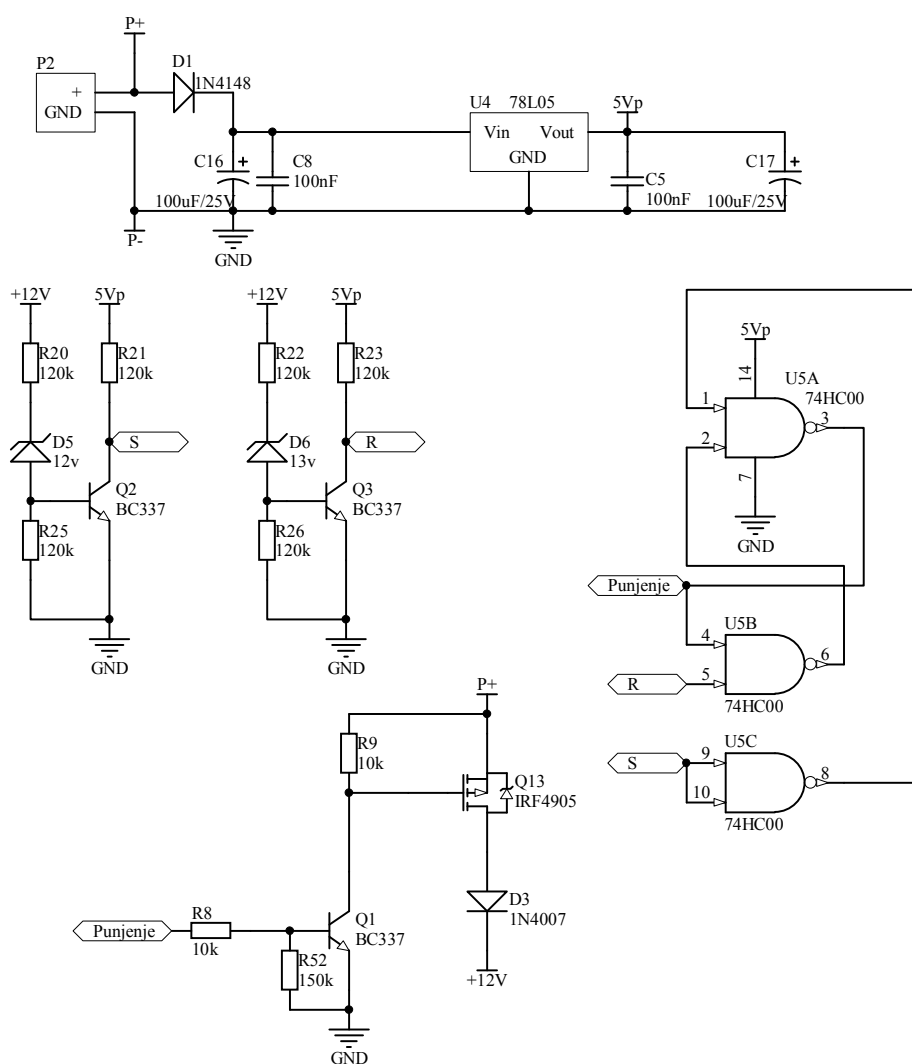


Slika 4.4: Spajanje mikrokontrolera s periferijom

¹SD (eng. Secure Digital) kartica je memorijska kartica koja služi za pohranu podataka

Regulator punjenja zadužen je za pravilno punjenje akumulatora. Budući da navedeni solarni panel ne može dati više od 1 A struje nije potrebno regulirati struju punjenja. Potrebno je samo osigurati da se punjenje isključi kad napon akumulatora dosegne 14,5 V, a ponovno uključi kad padne ispod 13 V. Navedeno se ostvaruje pomoću NAND² vrata kojima je ostvaren bistabil, tj. pamćenje izlaza.

Ulazi bistabila su zenerove diode koje propuste struju kada napon akumulatora postane viši od njihovog zapornog napona (13 V i 14,5 V). Bistabilna logika postavljena je na način da izlaz koji uključuje punjenje preko tranzistora bude uključen dok napon akumulatora ne dosegne 14,5 V nakon čega se izlaz isključuje. Ponovno uključenje nastupa tek kad napon akumulatora padne ispod 13 V. Napajanje bistabila vrši se preko regulatora napona koji je spojen izravno na solarni panel. Shema regulatora punjenja prikazana je na slici 4.5.



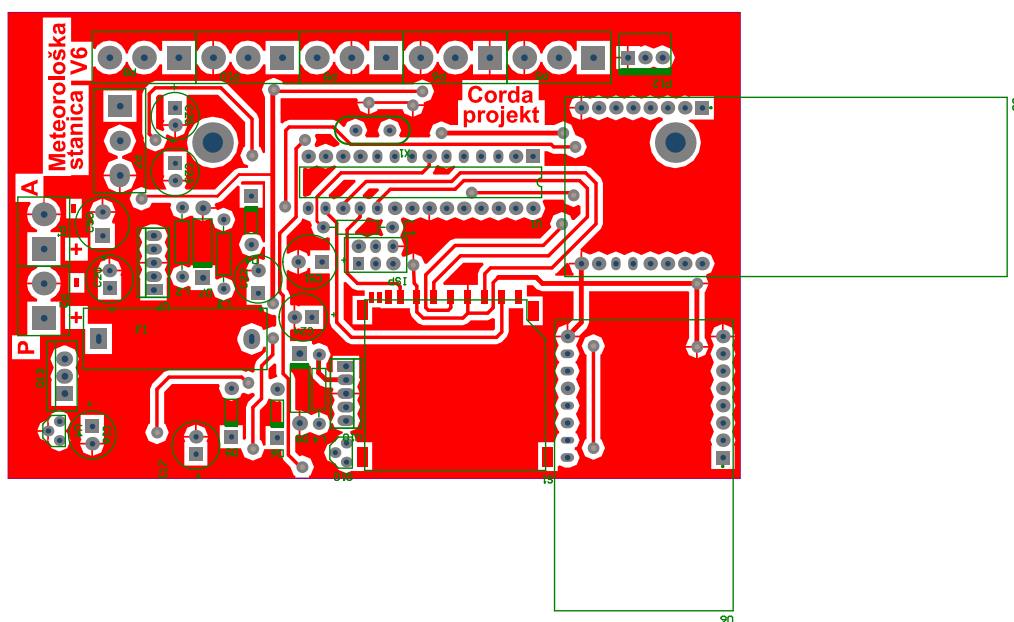
Slika 4.5: Shema regulatora punjenja akumulatora

²NAND vrata - logički sklop koji za kombinaciju 2 ulazna signala daje jedan izlazni

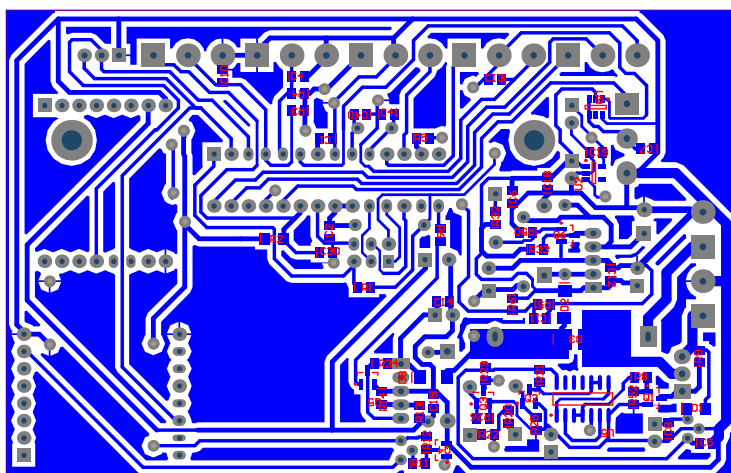
4.1.2 Projektiranje tiskane pločice

Tiskane pločice služe za učvršćivanje elektroničkih i elektromehaničkih komponenti za čvrstu podlogu i međusobnu električnu povezanost. Nakon konstrukcije elektroničke sheme, prebacujemo se iz prozora za konstruiranje elektroničke sheme u prozor za dizajniranje tiskane pločice. Program nam automatiziranim procesom postavlja elemente koje smo dodali na shemu, uzimajući u obzir njihove realne oblike i dimenzije, kao i njihove međusobne veze. Elemente je potrebno razmjestiti unutar okvira koji nam predstavlja tiskanu pločicu. Zatim još treba izraditi spojeve među elementima.

Na sljedećim slikama 4.6 i 4.7 prikazan je izgled tiskane pločice sa pripadajućim komponentama sa gornje i donje strane.



Slika 4.6: Izgled pločice sa gornje strane



Slika 4.7: Izgled pločice sa donje strane

4.1.3 Izrada tiskane pločice

Potrebno je odabrati tiskanu pločicu odgovarajućih dimenzija. Tiskana pločica najčešće se izrađuje fotopostupkom, tj. prenošenjem ranije projektiranih vodova na pločicu. Nakon nanošenja vodova na pločicu, uklanja se višak bakra i buše se rupe za montažu elemenata. Na kraju je potrebno pločicu temeljno očistiti i pokositriti da se spriječi oksidacija.

Fotopostupak

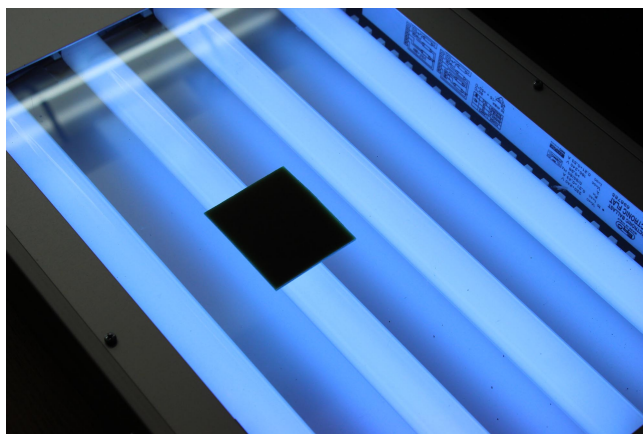
Za izradu tiskane pločice fotopostupkom potreban je ovaj materijal:

- tiskana pločica
- termofolija ili paus papir na kojoj je ispisan nacrt tiskane pločice
- natrijev hidroksid (NaOH)
- osvjetljivač pločica ili UV žarulja
- posude u kojima ćemo razvijati pločicu
- fotolak (nije potreban ako imamo fotopločicu koja je već prekrivena fotolakom)

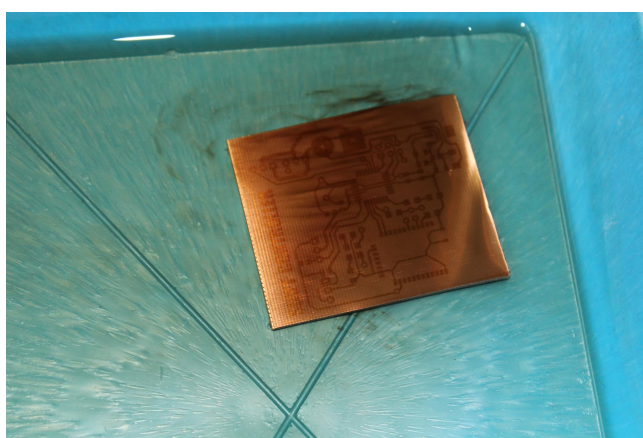
Prvo je potrebno ukloniti sve nečistoće s tiskane pločice. Za čišćenje mogu poslužiti kuhinjska sredstva za čišćenje masnoće ili nitro razrjeđivač. Nakon čišćenja na tiskanu pločicu treba nanijeti sloj fotolaka s udaljenosti 20 - 30 cm pod kutom 25° - 30° od podloge. Sprej treba nanijeti ravnomjerno i u što tanjem sloju, jer što je lak deblji treba ga duže sušiti, osvjetljivati i razvijati. Tada je potrebno pločicu osušiti. Pločica se može sušiti pri sobnoj temperaturi 24 h ili na temperaturi od 50 °C u električnoj pećnici 30 minuta, no prije toga pločicu treba staviti u kutiju kako se pri sušenju ne bi osvjetlila ili nakupila prašina po površini laka.

Predložak tiskane pločice zalijepi se na pločicu (strana oslojena fotolakom) i to tako da toner bude uz fotolak. Sada je pločica spremna za osvjetljavanje (slika 4.8). Pločica se osvjetljava uređajem za osvjetljavanje pločica, a može poslužiti i živina žarulja ili obična štedna žarulja. Vrijeme trajanja osvjetljavanja za UV žarulju je oko 2 minute, dok se vrijeme obične štedne žarulje znatno produljuje, čak 7 - 8 minuta.

Za vrijeme osvjetljavanja treba pripremiti razvijач za fotolak. On se priprema tako da se u 1 l obične vode stavi 7-10 g natrijevog hidroksida (NaOH). Količina i temperatura same smjese je vrlo važna. Ukoliko je razvijач hladan razvijanje će teći sporije i obrnuto. Nakon što je osvjetljavanje gotovo, pločicu treba staviti u razvijач (slika 4.9). Razvijач će skinuti fotolak koji je osvjetljen, dok će neosvjetljeni lak ostati na pločici. Taj proces traje oko jedne minute, ovisno o temperaturi razvijачa i o količini natrijevog hidroksida (NaOH). Nakon skidanja nepotrebnog laka sa osvjetljenog dijela tiskane pločice, pločicu je potrebno oprati u vodi i osušiti. Tiskana pločica spremna je za jetkanje.



Slika 4.8: Osvjetljavanje tiskane pločice



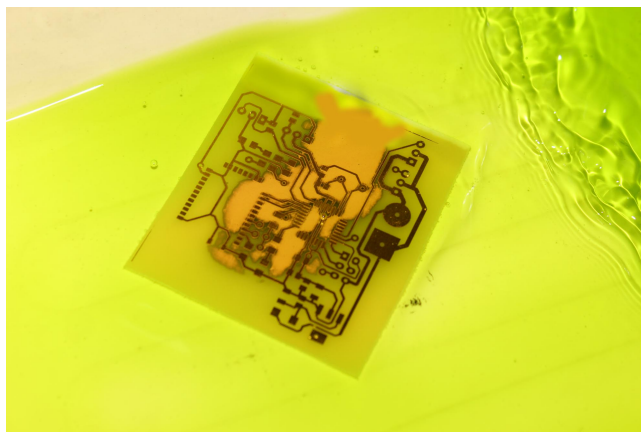
Slika 4.9: Razvijanje pločice

Jetkanje pločice

Zaštitom željenih spojeva fotopostupkom zaštitili smo željeni dio bakra, a ostatak je potrebno odstraniti. To se postiže jetkanjem (nagrizanjem) u određenoj otopini (slika 4.10). Takvih otopina ima više vrsta. Jedna od njih je otopina željeznog (III) klorida (FeCl_3), tamnosmeđe boje. Ova otopina je vrlo agresivna pa je pri radu potreban osobit oprez. Jetkanje traje desetak minuta. Taj se postupak rijetko koristi, prvenstveno zbog dugog vremena jetkanja.

Puno brži i bolji način jetkanja je pomoću solne kiseline (HCl) i vodikovog peroksida (H_2O_2). Poželjno je da tekućine budu što veće koncentracije, ali najčešće one iznose 18 - 22 % za solnu kiselinu (HCl) i 9 - 30 % za vodikov peroksid (H_2O_2). Tekućine se nikako ne smiju unaprijed miješati, jer tekućine s vremenom reagiraju i gube na kvaliteti. Za postupak jetkanja potrebno je u plastičnoj posudi napraviti smjesu solne kiseline (HCl) i vodikovog peroksida (H_2O_2). Ako se koristi 19% HCl i 30% (H_2O_2) potrebno je smjesu napraviti u omjeru 10:1. Nagrizanje pločice započinje laganim gibanjem posude. Skidanje bakra počinje od rubova tiskane pločice ka sredini. Jetkanje bi trebalo u potpunosti završiti za nekoliko minuta, u suprotnom će kiselina vrlo vjerojatno početi nagrizati i zaštićeni dio bakra.

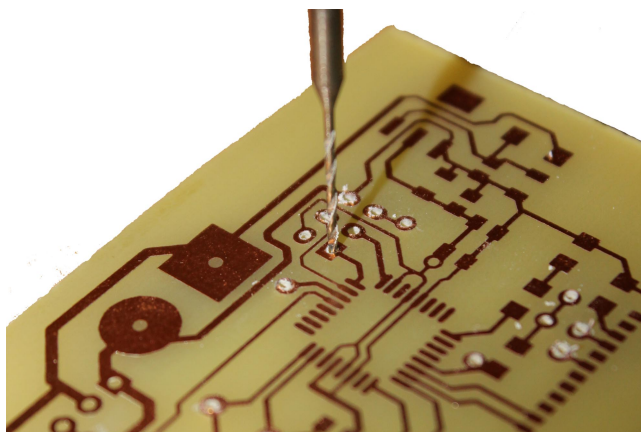
Nakon jetkanja potrebno je odgovarajućim otapalom, npr. acetonom ili nitro razrjeđivačem, skinuti sloj fotolaka s vodova na pločici. Ponekad na nekim mjestima tiskane pločice ostanu neželjeni spojevi između vodova koje je potrebno ukloniti oštrim predmetom. Naposljetku, tiskanu pločicu treba pokositriti kako bi se spriječila oksidacija pločice. Kositrenje se provodi tako što se lemilica lagano prisloni uz bakar, doda se lemne žice i u tankom sloju razmaže po površini.



Slika 4.10: Jetkanje pločice

Bušenje pločice

Tiskane pločice trebaju se bušiti (slika 4.11) pažljivo i odgovarajućom brzinom vrtnje svrdla. Brzina vrtnje ovisi o materijalu upotrijebljenog svrdla i njegovog reznog kuta, pa i materijala od kojeg je izrađena tiskana pločica. Postoje posebna vidija svrdla za bušenje vitroplast tiskanih pločica jer obična svrdla nakon stotinjak rupa više nisu za uporabu. Preporuča se korištenje što veće brzine vrtnje, jer će provrti biti kvalitetniji, a bušenje će kraće trajati. Uobičajeni promjeri svrdla su 0.8 mm, 0.9 mm, 1.0 mm, a prema potrebi i 1.1 mm i 1.2 mm, što ovisi o promjeru priključaka sastavnih elemenata.

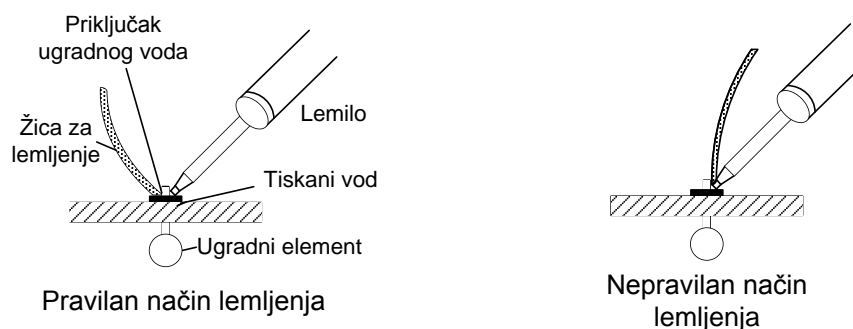


Slika 4.11: Bušenje pločice

Lemljenje [8]

Lemljenje je najvažnija radnja pri sastavljanju elektroničkih sklopova, stoga je najprije potrebno naučiti kako se ispravno provodi. Najveća pogreška je kada se na vrh lemila pritisne žica za lemljenje jer se na taj način dobije kapljica rastopljenog kositra koja se donosi na mjesto gdje treba ostvariti spoj. Pravilan način je da se vrhom lemila zagrijava priključna žica elektroničkog elementa. Ona prvo otopi sredstvo za lemljenje koje zalije čitavo mjesto spoja, na koje se onda u nastavku razlije rastopljeni kositar. Vrh lemila se ne smije odmaknuti odmah već treba pričekati da kositar poprimi jednoličnu srebrnu boju. Dobar lemni spoj je, nakon što se ohladi, gladak, a boja mu je mat-srebrna.

Uz pojam lemljenja često se javlja i pojam hladnih spojeva. To su spojevi koji su na prvi pogled u redu, ali su zapravo trajno ili povremeno bez kontakta. Hladni spojevi mogu nastati odmah, ali i nakon nekog vremena. Hladni spojevi se izbjegavaju dovoljno dugim držanjem lemila na mjestu koje se lemi, no ne valja pretjerati, jer može doći do oštećenja osjetljivih poluvodičkih sastavnih elemenata ili bakrene folije.



Slika 4.12: Prikaz pravilnog i nepravilnog načina lemljenja [8]

Prema projektiranoj pločici (slika 4.6 i slika 4.7) leme se elementi na tiskanu pločicu.

4.2 Mehanička konstrukcija

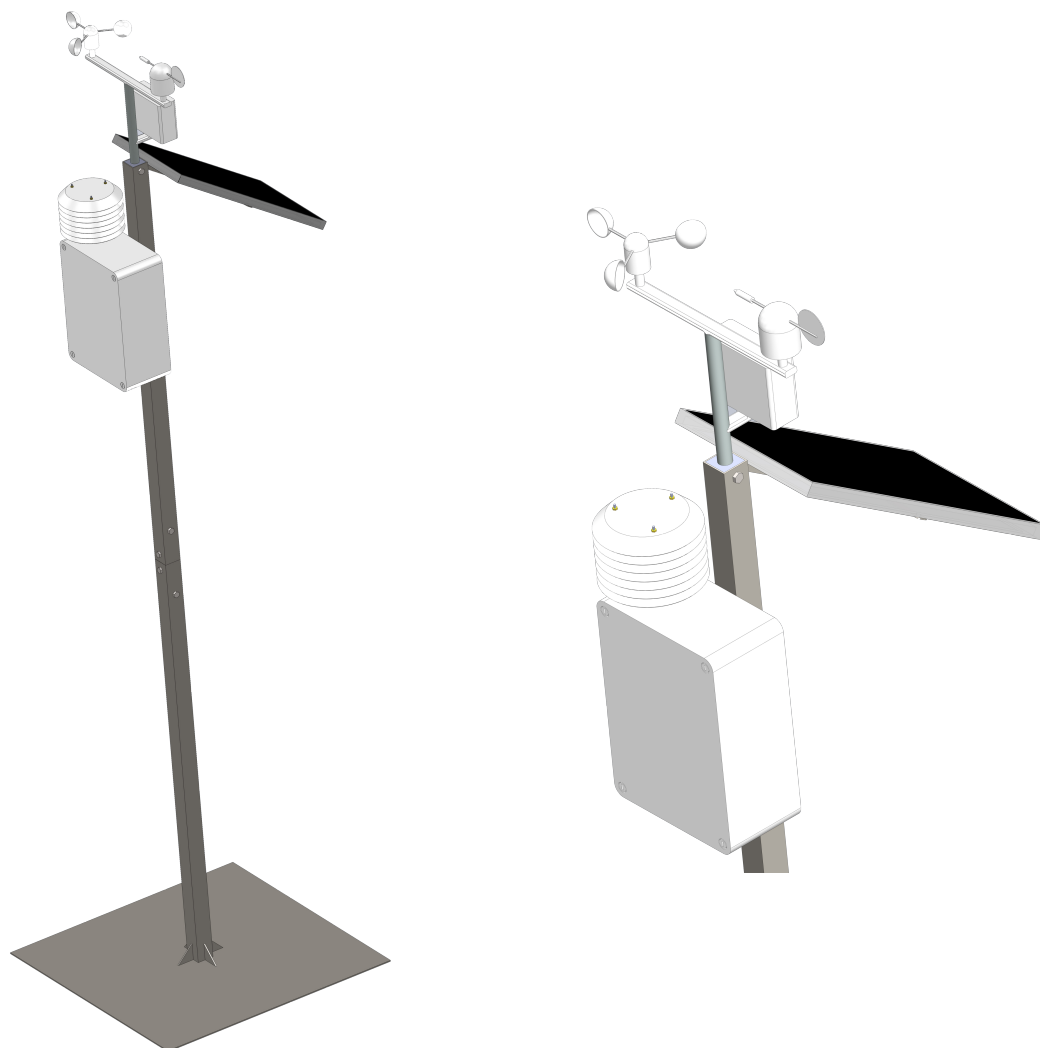
4.2.1 Postolje

Konstrukcija meteorološke postaje sastoji se od stupa na kojem su učvršćeni svi senzori, solarni panel te kutija s elektronikom i akumulatorom. Stup je konstruiran od tri dijela kako bi se omogućio lakši transport i podesivost po visini.

Na donjem dijelu stupa nalazi se čelična ploča debljine 3mm na koju se stavljaju utezi kako bi stup uspravno stajao. Ukoliko se stanica postavlja na zemljano tlo zamišljeno je da se ploča zakopa u zemlju. Donji i gornji dio konstrukcije spajaju se unutarnjom cijevi koja je 1 mm manja od vanjskih cijevi i učvršćuje se pomoću četiri vijka na željenoj visini. Gornji dio stupa služi kao nosač senzora, solarnog panela i kutije s elektronikom. Stup je izrađen od čeličnih kvadratnih cijevi koje su međusobno zavarene. Nakon izrade

konstrukcija je plastificirana u bijelu boju kako bi se postigla estetika i spriječila korozija.

Na slici 4.13 prikazan je 3D model postolja automatske meteorološke postaje.



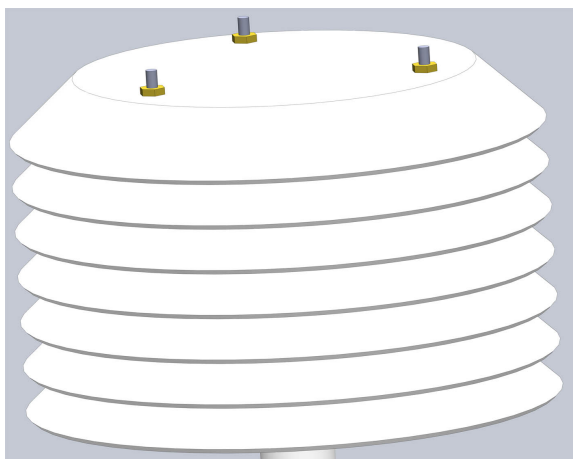
Slika 4.13: *SolidWorks* model meteorološke stanice

4.2.2 Kućište senzora temperature

Kako bi se spriječio utjecaj sunčeve radijacije na mjerenje temperature, potrebno je senzor zaštititi kućištem. Budući da gotova kućišta imaju visoku cijenu, projektirano je i izrađeno takvo kućište.

Kućište se sastoji od sedam "šeširića" koji se nalaze jedan iznad drugog na odstojanju od 9 mm. Unutarnji "šeširići" izgledaju poput vijenca kako bi se dobio unutarnji prostor, dok su vanjski puni krugovi zbog zaštite od ulaska sunčevog zračenja i kiše. Odstojanje između šeširića omogućeno je trima navojnim šipkama na koje se "šeširići" slažu. Nakon svakog "šeširića" dolazi plastična cijevčica koja drži razmak između 2 "šeširića".

Slika 4.14 usporedno prikazuje 3D model projektiranog kućišta i izrađeno kućište.



Slika 4.14: Kućište senzora temperature

Svaki od "šeširića" mora biti savijen kako bi spriječio ulazak sunčevog zračenja i ulaska kiše u prostor senzora, a omogućio strujanje zraka kako nebi došlo do nakupljanja vlage i porasta temperature. "Šeširići" su izrezani iz ploče od PVC-a ³ debljine 1,5 mm. Savijanje se odvija termoformiranjem⁴ na temperaturi od 80 °C na posebnom alatu za termoformiranje koji je također projektiran i izrađen. Grijanje "šeširića" prilikom termoformiranja odvija se jednolikim puhanjem vrućeg zraka po cijeloj površini "šeširića", nakon čega se pritiskom alata dobiva željeni oblik. Alat za termoformiranje prikazan je na slici 4.15



Slika 4.15: Alat za termoformiranje

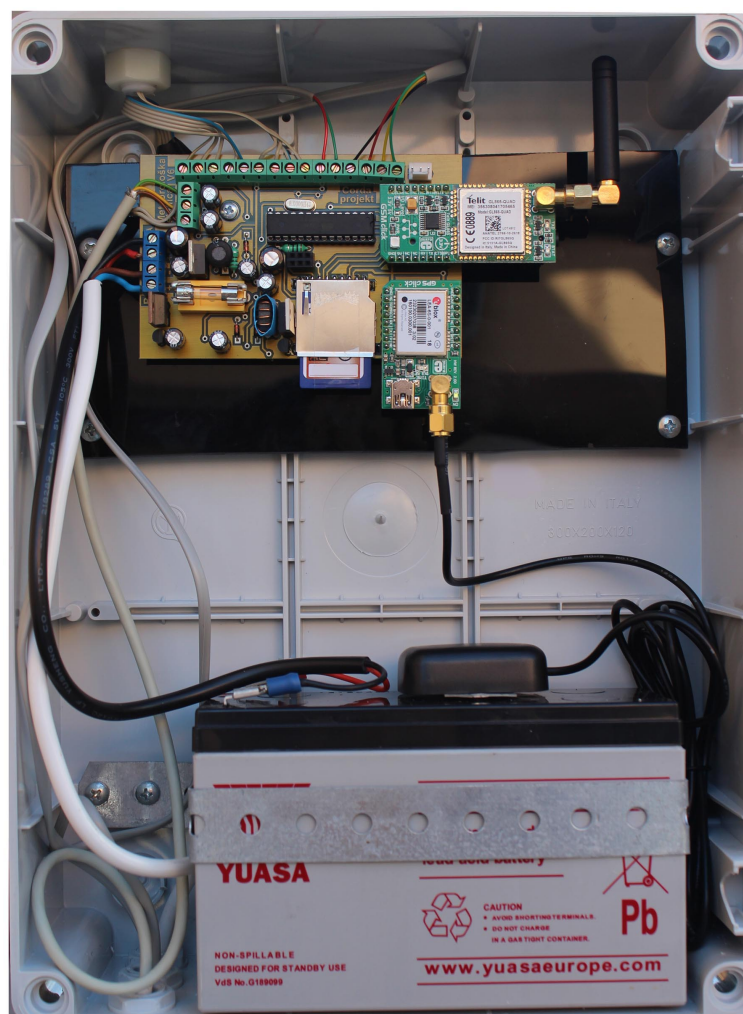
³PVC - polivinil klorid je industrijski polimerni materijal otporan na sunčevo zračenje i kiseline

⁴termoformiranje - proizvodni proces gdje se plastika zagrijava na određenu temperaturu i oblikuje u željeni oblik te se potom hladi pa zadržava novonastali oblik

4.3 Ugradnja komponenti

Kako bi svi dijelovi i sklopovi mogli izvršavati svoju funkciju, potrebno ih je međusobno povezati i učvrstiti na odgovarajuće mjesto. Tako se na početku prvo pričvršćuje kutija za elektroniku sa četiri vijka za stup meteorološke postaje. U donji dio kutije dodaje se akumulator te se pričvršćuje pomoću lima savijenog u obliku akumulatora s tri vijka. U gornji dio kutije učvršćuje se plastična ploča na koju će se instalirati tiskana pločica sa elektronikom. Potom slijedi učvršćivanje tiskane pločice pomoću 2 vijka za prije ugrađenu ploču. Dalje slijedi ugradnja uvodnica na kutiju kroz koje će prolaziti kablovi prema sensorima i solarnom panelu. Slijedi ugradnja kućišta senzora temperature i ostalih senzora na predviđena mjesta. Na kraju se spajaju senzori na tiskanu pločicu, spaja se akumulator, solarni panel te se spajaju GPS i GSM antene.

Na slici 4.16 vide se ugrađeni dijelovi u kutiji za elektroniku, dok slika 4.17 prikazuje instaliranu meteorološku postaju.



Slika 4.16: Elektronička kutija meteorološke postaje



Slika 4.17: Instalirana automatska meteorološka postaja

4.4 Cijena

S obzirom na cijenu renomiranih proizvođača meteoroloških postaja, izrada ove meteorološke postaje postiže mnogo nižu cijenu. Tablica 4.1 prikazuje cijene pojedinih komponenata potrebnih za izradu jedne automatske meteorološke postaje.

Tablica 4.1: Cijena komponenata za izradu jedne meteorološke postaje

Naziv	Komada	Jed. cijena	Cijena
ATMEL - ATMEGA328P	1	28,00 kn	28,00 kn
LP2985 3.3V voltage regulator	1	7,00 kn	7,00 kn
LIS302 akcelerometar	1	40,00 kn	40,00 kn
Senzori vjetra i padalina	1	460,00 kn	460,00 kn
Senzor tlaka BMP085	1	135,00 kn	135,00 kn
Senzor vlage Sensirion SHT15	1	393,00 kn	393,00 kn
Telit Quad GL865	1	450,00 kn	450,00 kn
Ublox LEA6	1	450,00 kn	450,00 kn
SD memorijska kartica	1	30,00 kn	30,00 kn
Solarni panel 15W	1	185,00 kn	185,00 kn
kutija 300x220x120 IP56	1	135,00 kn	135,00 kn
Baterija akumulatorska Fiam 12V 7,2 Ah	1	172,00 kn	172,00 kn
Stezaljka za pločicu 2 polna plava	2	2,00 kn	4,00 kn
Stezaljka za pločicu 3 polna plava	6	2,80 kn	16,80 kn
78L05AWC Regulator	1	2,00 kn	2,00 kn
FLAT kabel sivi 10 polni	2	3,08 kn	6,16 kn
kabel. 4x0,14 oklopljeni	7	5,03 kn	35,21 kn
Sitni elektronički i elektromehanički materijal	1	250,00 kn	250,00 kn
Izrada kućišta senzora	1	70,00 kn	70,00 kn
Izrada tiskanih pločica	1	350,00 kn	350,00 kn
Čelična konstrukcija	1	250,00 kn	250,00 kn
Troškovi poštarine i carine	1	500,00 kn	500,00 kn

UKUPNO:

3.969,17 kn

Cijena izrade automatske meteorološke postaje stajala bi oko 4.000 kn, dok bi cijena za 10 meteoroloških postaja iznosila oko 40.000 kn. Osim tih troškova postoje još troškovi pohranjivanja podataka na centralnom računalu (eng. web hosting) koji iznose oko 450 kn godišnje za neograničen broj postaja te oko 200 kn po postaji za slanje izmjerenih podataka putem mobilne mreže.

Poglavlje 5

Komunikacija sa centralnim računalom

Izmjerene podatke sa senzora GSM modul šalje centralnom računalu putem GPRS mobilne mreže. Centralno računalo posprema podatke zajedno sa vremenom mjerenja u bazu. Korisnik podacima može pristupiti putem računala preko web stranice. Na navedenoj stranici korisnik može pregledavati podatke tablično i grafički za željeno vremensko razdoblje.

5.1 Protokol GSM modula

Navedeni GSM modul *Telit* GL865 spaja se na internet putem mobilne mreže nekog mobilnog operatera. Nakon ostvarene veze sa internetom, modul se spaja na adresu centralnog računala i pokreće datoteku. Pokretanjem datoteke šalje se paket sa podacima koje centralno računalo prima te ga pohranjuje u tablicu imenom meteorološke postaje. Podaci se šalju u paketu u kojemu je svaki podatak odvojen znakom "#". Paket izgleda:

```
temperatura#vlaga#tlak#padaline#brzina vjetra max#brzina vjetra prosjek#smjer  
vjetra#tuča max#tuča prosjek#stanje akumulatora#položaj#visina#
```

Naredbe koje mikrokontroler treba poslati GSM modulu kako bi izvršio slanje su:

```
1 AT+CGDCONT = 1,"IP","web.htgprs","0.0.0.0",0,0 \r  
2 AT#SCFG=1,1,300,90,600,50 \r  
3 AT#SGACT=1,1,"EASY GPRS","EASY GPRS" \r  
4 AT#SD=1,0,80,"www.meteo.estima-expertus.com",0,0 \r  
5 POST /stanice/stanica06/putdata.php HTTP/1.1 \r\n  
6 Host: meteo.estima-expertus.com \r\n  
7 Connection: Close \r\n  
8 Content-type: application/x-www-form-urlencoded \r\n  
9 Content-length: 75 \r\n  
10 value= paket \r\n
```


Navedene naredbe šalju se putem serijske komunikacije. Najprije uspostavljaju vezu s internetom, potom se modul spaja na centralno računalo, određuje se datoteka koja se pokreće, opcije slanja te na kraju paket koji se šalje.

5.2 Program na centralnom računalu

Na centralnom računalu se nalazi onoliko datoteka koliko ima meteoroloških postaja kako bi svaka postaja pokretala svoju datoteku. Na taj način svaka postaja posjeduje svoju tablicu u bazi gdje se pohranjuju podaci.

Datoteka koju modul pokreće prilikom slanja paketa izgleda:

```

1 <?php
2
3 _____
4 ———Unos podataka za stanica_00———
5 _____
6
7 $ime='stanica_6';
8
9 include("connect.php");
10
11 $value = $_POST['value'];
12 $pieces = explode('#', $value);
13 $tlak_kor=$pieces[1]+$visina*0.12;
14 $gps1 = $pieces[11];
15 $gps2 = $pieces[12]/60;
16 $lat = $gps1 + $gps2;
17 $gps3 = $pieces[13];
18 $gps4 = $pieces[14]/60;
19 $long = $gps3 + $gps4;
20
21 $query = "INSERT INTO $ime (temperatura, tlak, vlaga, padaline,
    vjetarmax, vjetaravrg, vjetarsmjer, tucamax, tucaavrg, datum, sifra,
    visina, akumulator, lat, lon) VALUES ('{$pieces[0]}', $tlak_kor, '{
    $pieces[2]}', '{$pieces[3]}', '{$pieces[4]}', '{$pieces[5]}', '{
    $pieces[6]}', '{$pieces[7]}', '{$pieces[8]}', NOW(), '$ime', '
    $visina', '{$pieces[10]}', $lat, $long)";
22 $result = mysql_query($query) or die(mysql_error());
23 echo "Poslano!"
24 ?>
```

Tablica u koju se pohranjuju podaci prikazana je u tablici 5.1.

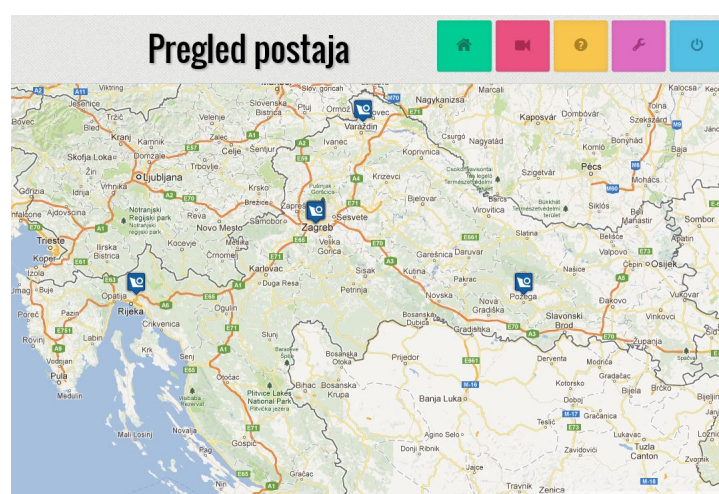
Tablica 5.1: Baza podataka

id	temp	tlak	vlag	pad	vjmax	vjav	smjer	tumax	tuav	datum	sifra	vis	aku	lat	lon
1	16.0	1027.58	85	0.00	2.4	0.0	11	0.0	0.0	2013-08-29 23:04:31	s_0	234	12.52	46.07802	15.68303
2	15.4	1027.83	86	0.00	0.0	0.0	11	25.0	21.0	2013-08-29 23:09:32	s_0	234	12.50	46.07802	15.68303
3	15.4	1027.83	86	0.00	0.0	0.0	11	0.0	0.0	2013-08-29 23:09:42	s_0	234	12.50	46.07674	15.68168
4	14.9	1027.80	88	0.00	0.0	0.0	11	20.0	0.0	2013-08-29 23:14:40	s_0	234	12.52	46.07674	15.68168
5	15.0	1027.88	89	0.00	0.0	0.0	11	25.0	21.0	2013-08-29 23:19:59	s_0	234	12.50	0.000000	0.000000
6	14.9	1027.77	90	0.00	0.0	0.0	11	22.0	21.0	2013-08-29 23:25:19	s_0	234	12.55	0.000000	0.000000
7	14.9	1027.97	89	0.00	0.0	0.0	11	23.0	21.0	2013-08-29 23:30:45	s_0	234	12.52	0.000000	0.000000
8	14.9	1027.97	89	0.00	0.0	0.0	11	0.0	0.0	2013-08-29 23:30:51	s_0	234	12.52	46.07807	15.68313
9	14.9	1027.69	89	0.00	0.0	0.0	11	21.0	10.0	2013-08-29 23:35:45	s_0	234	12.52	46.07807	15.68313
10	14.7	1028.00	89	0.00	0.0	0.0	11	23.0	21.0	2013-08-29 23:41:05	s_0	234	12.55	0.00000	0.0000000
11	14.4	1027.55	90	0.00	0.0	0.0	11	21.0	15.0	2013-08-29 23:51:23	s_0	234	12.50	46.07804	15.68304
12	14.3	1027.69	90	0.00	0.0	0.0	11	21.0	15.0	2013-08-29 23:56:23	s_0	234	12.50	46.07813	15.68302
13	14.6	1027.63	91	0.00	0.0	0.0	11	21.0	10.0	2013-08-30 00:01:22	s_0	234	12.50	46.07803	15.68305
14	14.8	1027.52	91	0.00	0.0	0.0	11	0.0	0.0	2013-08-30 00:06:22	s_0	234	12.50	46.07803	15.68305
15	14.9	1027.41	90	0.00	0.0	0.0	11	0.0	0.0	2013-08-30 00:11:22	s_0	234	12.50	46.07803	15.68305
16	14.8	1027.43	90	0.00	0.0	0.0	11	0.0	0.0	2013-08-30 00:16:22	s_0	234	12.50	46.07803	15.68305
17	14.8	1027.43	90	0.00	0.0	0.0	11	0.0	0.0	2013-08-30 00:21:22	s_0	234	12.47	46.07803	15.68305
18	14.9	1027.52	90	0.00	0.0	0.0	11	0.0	0.0	2013-08-30 00:26:22	s_0	234	12.47	46.07803	15.68305
19	14.9	1027.35	90	0.00	0.0	0.0	11	0.0	0.0	2013-08-30 00:31:22	s_0	234	12.47	46.07803	15.68305
20	14.8	1027.52	90	0.00	0.0	0.0	11	0.0	0.0	2013-08-30 00:36:22	s_0	234	12.47	46.07803	15.68305

5.3 Korisničko sučelje

Kako bi se olakšao uvid u prikupljene podatke, omogućen je direktan uvid u najnovija mjerenja preko web stranice. Interaktivno web sučelje prikazuje korisniku pomoću dijagrama i tablica uvid u sva mjerenja u željenom vremenskom intervalu. Na taj način osigurana je lagana i brza analiza prikupljenih podataka. Također, korisniku je omogućeno da podatke i dijagrame spremi u željeni format koji su na taj način spremni za daljnju prezentaciju i obradu.

Ulaskom na stranicu prikazuje se karta i sve meteorološke postaje u sustavu (slika 5.1). Odabirom meteorološke postaje pojavljuje se izbornik na kojem su prikazani trenutni podaci i gumbi za pokretanje grafičkog ili tabličnog prikaza podataka za određeno razdoblje (slika 5.2).



Slika 5.1: Glavni izbornik korisničkog sučelja [9]



Slika 5.2: Izbornik sa trenutnim podacima odabrane meteorološke postaje [9]

Odabirom grafičkog prikaza automatski se prikazuje dijagram temperature za današnji dan. Promjenom u padajućem izborniku odabire se mjerni podatak te željeno razdoblje promatranja (slika 5.3).



Slika 5.3: Grafički prikaz podataka [9]

gled postaja

EE - Jug
u 16:33, 21-04-2013

Temperatura	Tlak	Vlažnost	Padaline	Vjetar	Tuča
Trenutna: 23.9°C	Trenutni: 999.55 hPa	Trenutna: 35 %	Trenutno: 0.00 mm/m ²	Trenutni: N 1.2 km/h	Trenutno: 0.0
Najviša danas: 25.3°C Prosječna danas: 16.1°C Najniža danas: 10.2°C	Najviši danas: 1004.88 hPa Prosječni danas: 1003.55 hPa Najniži danas: 999.49 hPa	Najviša danas: 92 % Prosječna danas: 67 % Najniža danas: 35 %	Ukupno danas: 0.00 mm/m ²	Najbrži danas: 10.8 km/h Prosječni danas: 0.3 km/h	Najviša danas: 0.0 Prosječna danas: 0
Najviša 7 dana: 28.7°C Prosječna 7 dana: 16.7°C Najniža 7 dana: 6.4°C	Najviši 7 dana: 1014.56 hPa Prosječni 7 dana: 1007.5 hPa Najniži 7 dana: 999.49 hPa	Najviša 7 dana: 92 % Prosječna 7 dana: 51.6 % Najniža 7 dana: 12 %	Ukupno 7 dana: 28.16 mm/m ²	Najbrži 7 dana: 10.8 km/h Prosječni 7 dana: 0.3 km/h	Najviša 7 dana: 124.0 Prosječna 7 dana: 0.1
Najviša 30 dana: 28.7°C Prosječna 30 dana: 15°C Najniža 30 dana: 4.8°C	Najviši 30 dana: 1014.56 hPa Prosječni 30 dana: 1003.58 hPa Najniži 30 dana: 993.07 hPa	Najviša 30 dana: 100 % Prosječna 30 dana: 58 % Najniža 30 dana: 12 %	Ukupno 30 dana: 42.88 mm/m ²	Najbrži 30 dana: 16.8 km/h Prosječni 30 dana: 0.4 km/h	Najviša 30 dana: 124.0 Prosječna 30 dana: 0.1

Estima Expertus, 2013

Detaljniji podaci

Slika 5.4: Tablični prikaz podataka [9]

Tabličnim prikazom ispisuju se trenutne vrijednosti svih podataka, kao i minimalne, maksimalne te srednje vrijednosti pojedinih veličina za taj dan, 7 dana i 30 dana (slika 5.4).

Poglavlje 6

Zaključak

U radu je prikazan cijeli proces izrade prototipa meteorološke postaje. Odabrani su senzori temperature, vlage, tlaka, brzine i smjera vjetra, količine padalina, detekcije tuče, geografskog položaja i nadmorske visine te mikrokontroler koji će upravljati cijelom postajom. Navedene su prednosti i mane senzora te moguće greške prilikom mjerenja. Za povezivanje i osiguravanje rada postaje projektirana je elektronička shema, tiskana pločica i autonomno solarno napajanje. Izrađen je alat za izradu kućišta senzora temperature kojim su termoformirane polimerne ploče. Napravljeno je postolje meteorološke postaje podesivo po visini, pričvršćena je kutija u koju je smješten akumulator i tiskana pločica s elektronikom. Svi senzori su instalirani na predviđeno mjesto te se sve međusobno povezalo. Cijela postaja je puštena u rad i testirana u realnim uvjetima. Izmjereni podaci šalju se putem komunikacijskog GSM modula centralnom računalu. Pregled i analiza prikupljenih podataka omogućena je putem web stranice.

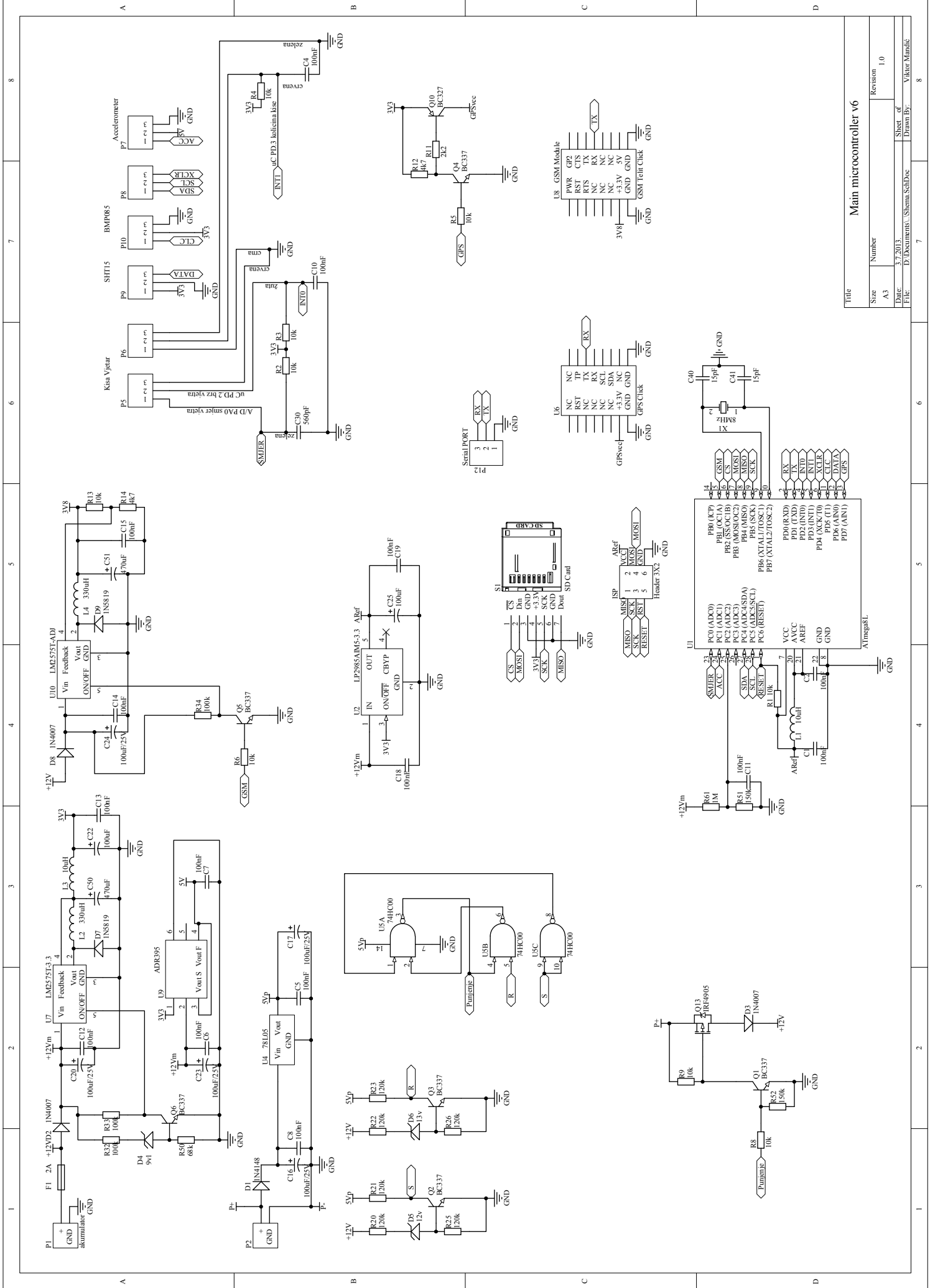
Sustav mreže meteoroloških postaja projektiran je sa ciljem praćenja meteoroloških uvjeta na različitim mjestima što češće uz minimalan rad čovjeka. Posebno je posvećena pažnja jednostavnom dodavanju novih postaja, održavanju i niskoj cijeni meteoroloških postaja uz veliku fleksibilnost podataka. Podaci su dostupni na bilo kojem računalu ili mobilnom telefonu koji imaju pristup internetu. Time je omogućen pregled trenutnih podataka kao i brze analize i lake obrada podataka.

Literatura

- [1] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Meteorologija>, 12.10.2013.
- [2] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Temperatura>, 12.10.2013.
- [3] http://hr.wikipedia.org/wiki/Atmosferski_tlak, 15.10.2013.
- [4] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Insolacija>, 15.10.2013.
- [5] http://hr.wikipedia.org/wiki/Solarna_ćelija, 29.10.2013.
- [6] Bosch. *"BMP085 Digital pressure sensor"*. 2009.
- [7] Državni hidrometeorološki zavod. *"Naputak za opažanja i mjerenja na glavnim meteorološkim postajama"*. Zagreb, 2008.
- [8] Igor Jurišić. *"Dizajn i konstrukcija elektroničkih strujnih krugova u nastavi"*. Zagreb, 2011.
- [9] Domagoj Majstorović. Fsb meteo web stranica. , 2013.
- [10] Sensirion. *"Datasheet SHT1x"*. Švicarska, 2011.
- [11] Ublox. *"Ublox-6 Receiver description"*. Švicarska, 2011.
- [12] D. Zorc. *"Mikroprocesorsko upravljanje"*. Zagreb, 2013.

Dodatak A

Elektronička shema

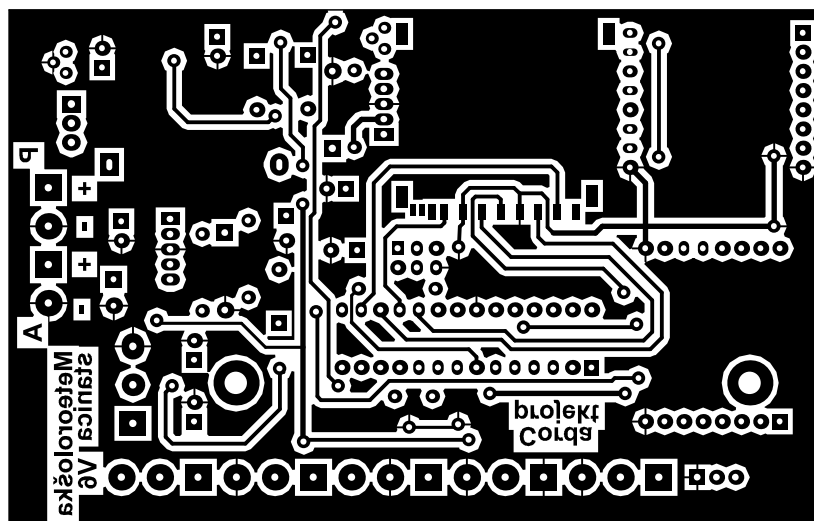
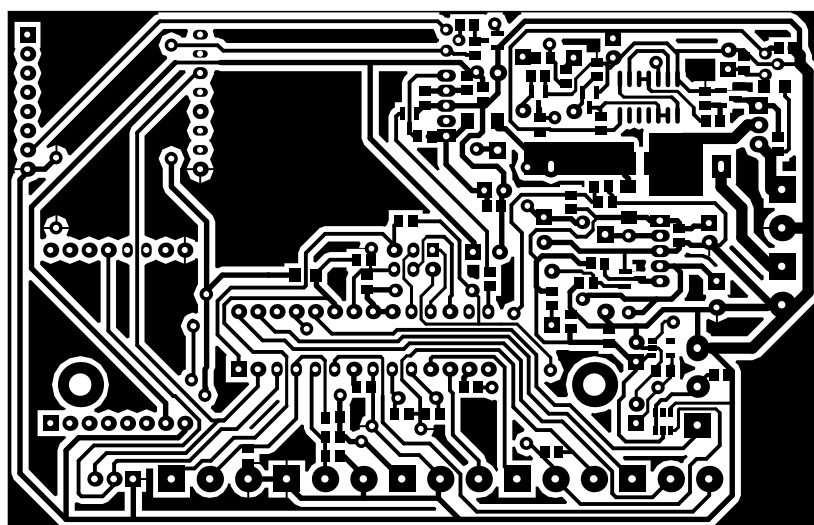


Main microcontroller v6

Title	Size	Number	Revision
	A3		1.0
Date	3.7.2013	Sheet of	
File	D:\Documents\1\Schemata\SchDoe	Drawn By:	Viktor Mandel

Dodatak B

Predložak za izradu tiskane pločice



Dodatak C

Program u mikrokontroleru

```
1 #include "bmp085.h"
2 #include "SHT15.h"
3 #include "ispisUART.h"
4 #include "upisSDCard.h"
5 #include "smjer_vjetra.h"
6 #include "GPS.h"
7 #include "akumulator.h"
8 #define slanje 75 //vrijeme cekanja
9 #define TH 0x85 //registar timera TCNT1H=0x85;
10 #define TL 0xEE //registar timera TCNT1L=0xEE;
11 #define timer2reg 0 //registar timera2 TCNT2=100; 20ms
12 #define tuca_offset 763
13 #define timer_vrijeme 4
14 #define tuca_osjetljivost 15
15
16 sbit kisa at PIND3_bit; // ulaz za senzor kise
17 sbit vjetar at PIND2_bit; // ulaz za senzor brzine vjetra
18 sbit kisa_Direction at DDD3_bit; // senzor kise dir pin
19 sbit vjetar_Direction at DDB2_bit; // senzor brzine dir pin
20 sbit int0en at EIMSK.B0; //INT0 enable bit
21 sbit int1en at EIMSK.B1; //INT1 enable bit
22 sbit TMRen at TOIE1_bit; //TMR1 enable bit
23 sbit TMR0en at TOIE0_bit; // Timer0 enable bit
24 sbit TMR2en at TOIE2_bit; //TMR2 enable bit
25 sbit GPS at PORTD7_bit;
26 sbit GSM at PORTB1_bit;
27
28 unsigned int vjetar_max_sd , tuca_max_sd , vjetar_avrg_sd , tuca_avrg_sd ;
29 unsigned int kisa_cnt , vjetar_cnt , vjetar_dir , sat , vjetar_ispis ;
30 unsigned int vjetar_speed , vjetar_speed_tren , kisa_vol , kisa_vol_ispis ;
31 unsigned short control ;
```

```
32 unsigned short  zavrсило_slanje ;
33 unsigned short  timer0_cnt; //varijabla za brojanje u TMR0
34 unsigned int  i ;
35 unsigned int  tuca_citaj ;
36 signed int  tuca_pom , tuca_tren ;
37 unsigned int  tuca_avrg , tuca_max ;
38
39 void SD_Card_zapisi() {
40 signed int  temp ;
41 if ( Mmc_Fat_Init ()==0)
42 {  lj [0]= '#' ;  tocka [0]= '.' ;  minus [0]= '-' ;  dvotocka [0]= ':' ;
43   Mmc_Fat_Set_File_Date (2013 ,1 ,27 ,17 ,47 ,0) ;
44   Mmc_Fat_Assign (&filename , 0xA0) ;
45   Mmc_Fat_Append () ;
46   //UPISIVANJE VRLJEDNOSTI SA SENZORA
47   if ( SHTtemperature < 0)
48   {   Mmc_Fat_Write (minus ,1) ;
49       temp=SHTtemperature*(-1) ;
50   }
51   else temp=SHTtemperature ;
52   upisibroj (temp/100) ; Mmc_Fat_Write (tocka ,1) ;
53   upisibroj ((temp/10)%10) ; Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
54   upisibroj (BMPpressure/100) ; Mmc_Fat_Write (tocka ,1) ;
55   upisibroj ((BMPpressure/10)%10) ; upisibroj (BMPpressure%10) ;
56   Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
57   upisibroj (SHThumidity/100) ; Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
58   upisibroj (kisa_vol_sd/100) ; Mmc_Fat_Write (tocka ,1) ;
59   upisibroj (kisa_vol_ispis%100) ; Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
60   upisibroj (vjetar_max_sd/10) ; Mmc_Fat_Write (tocka ,1) ;
61   upisibroj (vjetar_max_sd%10) ; Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
62   upisibroj (vjetar_avrg_sd/10) ; Mmc_Fat_Write (tocka ,1) ;
63   upisibroj (vjetar_avrg_sd%10) ; Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
64   upisibroj (smjer ()) ; Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
65   upisibroj (tuca_max_sd) ; Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
66   upisibroj (tuca_avrg_sd) ; Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
67   upisibroj (visina_avrg) ; Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
68   upisibroj (akumulator/100) ; Mmc_Fat_Write (tocka ,1) ;
69   upisibroj ((akumulator/10)%10) ; upisibroj (akumulator%10) ;
70   Mmc_Fat_Write (lj ,1) ;
71   upisibroj (sati) ; Mmc_Fat_Write (dvotocka ,1) ; upisibroj (minute) ;
72   Mmc_Fat_Write (novi_red ,2) ;
73 }
74 }
```

```

75
76 void posalji(void)
77 { signed int temp;
78   UART1_Write_Text("AT+CGDCONT=1,"); UART1_Write(' ');
79   UART1_Write_Text("IP"); UART1_Write(' '); UART1_Write(',');
80   UART1_Write(' '); UART1_Write_Text("web.htgprs");
81   UART1_Write(' '); UART1_Write(','); UART1_Write(' ');
82   UART1_Write_Text("0.0.0.0"); UART1_Write(' '); UART1_Write(',');
83   UART1_Write_Text("0,0"); UART1_Write(0x0D); delay_ms(1200);
84   UART1_Write_Text("AT#SCFG=1,1,300,90,600,50"); UART1_Write(0x0D);
85   delay_ms(1500); asm wdr;
86   UART1_Write_Text("AT#SGACT=1,1,"); UART1_Write(' ');
87   UART1_Write_Text("EASY GPRS"); UART1_Write(' '); UART1_Write(',');
88   UART1_Write(' '); UART1_Write_Text("EASY GPRS"); UART1_Write(' ');
89   UART1_Write(0x0D); delay_ms(1500);
90   UART1_Write_Text("AT#SD=1,0,80,"); UART1_Write(' ');
91   UART1_Write_Text("www.meteo.estima-expertus.com"); UART1_Write(' ');
92   UART1_Write(','); UART1_Write_Text("0,0"); UART1_Write(0x0D);
93   delay_ms(2000); asm wdr;
94
95   UART1_Write_Text("POST /stanice/stanica_8/putdata.php HTTP/1.1");
96   UART1_Write(0x0D); UART1_Write(0x0A);
97   UART1_Write_Text("Host: meteo.estima-expertus.com");
98   UART1_Write(0x0D); UART1_Write(0x0A);
99   UART1_Write_Text("Connection: Close"); UART1_Write(0x0D);
100  UART1_Write(0x0A);
101  UART1_Write_Text("Content-type: application/x-www-form-urlencoded");
102  UART1_Write(0x0D); UART1_Write(0x0A);
103  UART1_Write_Text("Content-length: 80"); UART1_Write(0x0D);
104  UART1_Write(0x0A); UART1_Write(0x0D); UART1_Write(0x0A);
105  UART1_Write_Text("value=");
106
107  if (SHTtemperature<0) {UART1_Write(45); temp=SHTtemperature*(-1);}
108  else temp=SHTtemperature;
109  ispisibroj(temp/100); UART1_Write(46); ispisibroj((temp/10)%10);
110  UART1_Write(35);
111  ispisibroj(BMPpressure/100); UART1_Write(46);
112  ispisibroj((BMPpressure/10)%10); ispisibroj(BMPpressure%10);
113  UART1_Write(35);
114  ispisibroj(SHThumidity/100); UART1_Write(35);
115  ispisibroj(kisa_vol_ispis/100); UART1_Write(46);
116  ispisibroj(kisa_vol_ispis%100); UART1_Write(35);
117  ispisibroj(vjetar_max/10); UART1_Write(46);

```

```
118   ispisibroj(vjetar_max%10);   UART1_Write(35);
119   ispisibroj(vjetar_avrg/10);   UART1_Write(46);
120   ispisibroj(vjetar_avrg%10);   UART1_Write(35);
121   ispisibroj(smjer());          UART1_Write(35);
122   ispisibroj(tuca_max);         UART1_Write(35);
123   ispisibroj(tuca_avrg);        UART1_Write(35);
124   ispisibroj(visina_avrg);      UART1_Write(35);
125   ispisibroj(akumulator/100);   UART1_Write(46);
126   ispisibroj((akumulator/10)%10); ispisibroj(akumulator%10);
127   UART1_Write(35);
128   if (polozaj[1]=='-')   UART1_Write(polozaj[1]);
129   else
130   {
131       for (i=2;i<=3;i++)   UART1_Write(polozaj[i]); UART1_Write(35);
132       for (i=5;i<=12;i++)   UART1_Write(polozaj[i]); UART1_Write(35);
133       for (i=15;i<=17;i++)   UART1_Write(polozaj[i]); UART1_Write(35);
134       for (i=19;i<=26;i++)   UART1_Write(polozaj[i]); UART1_Write(35);
135   }
136   UART1_Write(0x0D);   UART1_Write(0x0A);
137
138   vjetar_max_sd=vjetar_max;
139   vjetar_avrg_sd=vjetar_avrg;
140   tuca_max_sd=tuca_max;
141   tuca_avrg_sd=tuca_avrg;
142   kisa_vol_sd=kisa_vol_ispis;
143   vjetar_max=0; //nakon slanja resetirati varijable
144   vjetar_avrg=vjetar_speed_tren;
145   kisa_vol_ispis=0;
146   zavrсило_slanje=1;
147   tuca_max=0;
148   if (tuca_tren>tuca_osjetljivost) tuca_avrg=tuca_tren;
149   else tuca_avrg=0;
150 }
151
152 void interrupt_ISR () org IVT_ADDR_INT0    // Interrupt routine
153 {
154   vjetar_cnt++;
155 }
156
157 void interrupt_ISR1 () org IVT_ADDR_INT1 // Interrupt routine
158 {
159   kisa_cnt++;
160   int1len=0;
```

```
161 Delay_ms(50);
162 int len=1;
163 }
164
165 void Timer0Overflow_ISR() org IVT_ADDR_TIMER0_OVF
166 { timer0_cnt++;
167   if (timer0_cnt >= 100)
168   { asm wdr;
169     posalji();
170     SD_Card_zapisi();
171     Delay_ms(1000); asm wdr; Delay_ms(1000); asm wdr; Delay_ms(1000);
172     TCNT0=0;
173     TMR0en=0;
174     timer0_cnt=0;
175   }
176 }
177
178 void Timer1Overflow_ISR() org IVT_ADDR_TIMER1_OVF
179 { int0en=0; int0en=0; //DISABLE EXT interrupts (ugasi mjerenje kise)
180   TMR2en=0; TCNT2=timer2reg; //DISABLE TMR2 (ugasi mjerenje tuce)
181   sat++;
182   //MJERENJE VREMENA ZA PALJENJE GSMa
183   if (zavrsilo_slanje!=0) zavrsilo_slanje++;
184   if (sat >= (slanje - 10)) GSM=1;
185   if ( (zavrsilo_slanje >= 5) && (sat < (slanje - 10)) )
186   {GSM=0; zavrsilo_slanje=0;}
187   //MJERENJE VREMENA ZA PALJENJE GPSa
188   if (gps_cnt <= 3) { GPS=1; }
189   else { GPS=0; }
190   if (gps_cnt >= 50) gps_cnt=0; //reset nakon 100 slanja
191   if (sat >= slanje) //450 da bude pola sata (ulazi u timer 4 sec)
192     //KISA
193     {sat=0;
194       kisa_vol=(kisa_cnt*34); //0.01mm kiše
195       kisa_vol_ispis=kisa_vol;
196       kisa_cnt=0;
197       kisa_vol=0;
198       control=1; //informacija kad da pošalje u mainu
199       gps_cnt++; //broji koliko je prošlo (nakon 3 slanja ugasi GPS)
200     }
201   //VJETAR BRZINA
202   vjetar_speed=((vjetar_cnt*24)/timer_vrijeme); // 0.1 km/h
203   vjetar_speed_tren=vjetar_speed;
```

```

204  if (vjetar_speed>vjetar_max) vjetar_max=vjetar_speed;
205  vjetar_avrg=(vjetar_avrg+vjetar_speed)/2;      //0.1km/h prosjek
206
207  vjetar_speed=0;
208  vjetar_cnt=0;
209  TCNT1H=TH;
210  TCNT1L=TL;  //stanje registra TCNT1=34286
211  int0en=1;  int0en=1;  //DISABLE EXT interrupts
212  TMR2en=1;  TCNT2=timer2reg;  //DISABLE TMR2
213  SREG_I_bit = 1;      // Enable Interrupts
214 }
215
216 void Timer2Overflow_ISR() org IVT_ADDR_TIMER2_OVF
217 {
218     tuca_citaj=ADC_Read(1);
219     tuca_tren=tuca_citaj-tuca_offset;
220     if (tuca_tren<0) tuca_tren=tuca_tren*(-1);
221     tuca_pom=tuca_pom+ (tuca_tren-tuca_pom)/5; //low pass filter
222     if (tuca_pom<0) tuca_pom=tuca_pom*(-1);
223     if (tuca_pom>tuca_max) tuca_max=tuca_pom;
224     if (tuca_pom>tuca_osjetljivost)
225     { tuca_avrg=tuca_avrg+tuca_pom;
226       tuca_avrg=tuca_avrg/2;
227     }
228     if (tuca_max<tuca_osjetljivost) tuca_max=0;
229
230     TCNT2=timer2reg;
231 }
232
233 void main() {
234
235  WDTCSR |= (1<<WDCE) | (1<<WDE);
236  WDTCSR = (1<<WDE) | (1<<WDP3) | (0<<WDP2) | (0<<WDP1) | (1<<WDP0);
237
238  DDC2_bit=0;
239  DDB0_bit=1; DDB1_bit=1; DDD7_bit=1;
240  GPS=1; GSM=0;      //Upali GPS
241  kisa_Direction=0;  //input PIN
242  vjetar_Direction=0; //input PIN
243  SCL_Direction = 1; //SCL output
244  EICRA = 0x0A;      //INT0 i INT1 okidaju na falling edge
245  int0en=1;          //INT0 Enable VJETAR
246  int1en=1;          //INT1 Enable KISA

```

```

247 TCCR1B=0x05;    //TMR1 1024 prescaling
248 TCNT1H=TH;
249 TCNT1L=TL;
250 TCCR0B = 5;    // Timer0 with 1024 prescaler
251 TCCR2B = 5;    // Timer2 with 1024 prescaler
252 TCNT0=0;
253 TCNT2=timer2reg;
254 //VAR INIT
255 vjetar_speed=0; vjetar_max=0; vjetar_speed_tren=0;
256 kisa_cnt=0;
257 vjetar_cnt=0;
258 kisa_vol=0;
259 tuca_max=0;
260 sat=0; control=0;
261 kisa_cnt=0;
262 vjetar_cnt=0;
263 zavrсило_slanje=0;
264 novi_red[0]=13; novi_red[1]=10;    //CR+LF init
265 polozej[1]='-'; visina_avrg=0; vmax=0; vmin=8000; gps_cnt=0;
266 SREG_I_bit = 1;    // Enable Interrupts
267 //MJERENJE VJETRA PRVI PUT DA AVERAGE NE BUDE 0
268 Delay_ms(1000); asm wdr; Delay_ms(1000); asm wdr;
269 vjetar_avrg=((vjetar_cnt*24)/2);
270 tuca_pom=ADC_Read(1);
271 tuca_pom=tuca_pom-tuca_offset;
272 if (tuca_pom<0) tuca_pom=tuca_pom*(-1);
273 if (tuca_pom>tuca_osjetljivost) tuca_avrg=tuca_pom;
274 else tuca_avrg=0;
275
276 UART1_Init(9600);
277 SPI1_Init_Advanced(_SPL_MASTER, _SPL_FCY_DIV8, _SPL_CLK_LO_LEADING);
278 TWI_Init(100000);    // initialize TWI communication
279 TMRen=1;    //Enable TMR1 (za kisu i vjetar – SLANJE)
280 TMR2en=1;    //Enable TMR2 (mjerenje tuce – akcelerometar)
281
282 while(1)
283 { while(control==0) {asm wdr;}
284   int0en=0; int0en=0; //DISABLE EXT interrupts
285   TMR2en=0; TCNT2=timer2reg; //DISABLE TMR2
286   control=0; //reset ulaza u petlju
287   TCNT0=0; //Reset TMR0
288   timer0_cnt=0;
289   TMR0en=1; //Enable TMR0

```



```
290     accu(); //stanje akumulatora
291     ConvertHumidity(); //vlaga
292     bmp085Convert(); //ocitaj tlak
293     if(GPS==1) GPSs(); //polozaj i visina
294     TCNT0=0; //Reset TMR0
295     TMR0en=0; //Disable TMR0
296     timer0_cnt=0;
297     posalji();
298     SD_Card_zapisi();
299     int0en=1; int0en=1; //ENABLE EXT interrupts
300     TMR2en=1; TCNT2=timer2reg; //ENABLE TMR2
301 }
302
303 }
```